

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCIANA MARIA DA SILVA

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO DATUM VERTICAL BRASILEIRO
DE IMBITUBA**

CURITIBA

2017

LUCIANA MARIA DA SILVA

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO DATUM VERTICAL BRASILEIRO DE
IMBITUBA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências Geodésicas.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas

CURITIBA

2017

S586a

Silva, Luciana Maria da

Análise da evolução temporal do Datum Vertical Brasileiro de Imbituba /
Luciana Maria da Silva. – Curitiba, 2017.

270 f. : il. color ; 30 cm.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra ,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2017.

Orientador: Sílvio Rogério Correia de Freitas

Bibliografia: p. 240-264.

1. Marés – Previsores. 2. Nível do mar. 3. Nível das águas. 4. Gravidade
(Física) – Medição. 5. Gravidade – Anomalias. 6. Datum Vertical Brasileiro de
Imbituba (SC). I. Universidade Federal do Paraná. II. Freitas, Sílvio Rogério
Correia de. III. Título.

CDD: 551.4708

TERMO DE APROVAÇÃO

LUCIANA MARIA DA SILVA

"ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO DATUM VERTICAL BRASILEIRO DE IMBITUBA"

Tese nº 103 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas
Departamento de Geomática, UFPR



Prof. Dr. Marcelo Tomio Matsuoka
Universidade Federal de Uberlândia, UFU



Prof. Dr. Roberto Teixeira Luz
Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ



Drª. Sônia Maria Alves Costa
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE



Profª. Drª. Regiane Dalazoana
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 17 de fevereiro de 2017

Dedico este trabalho, primeiramente, a pessoa mais importante de minha vida: a minha mãe Maria de Lourdes da Silva, por ser sempre o meu porto seguro de todas as horas, por tudo que me proporcionou e proporciona, por ter enfrentado os desafios e os preconceitos da sociedade, sem desistir e sem me deixar desistir. Também, dedico as duas pessoas que contribuíram para concretizar esta pesquisa: ao meu namorado Leandro Mendes Ferreira por ser uma inexaurível fonte de motivação; e ao meu orientador Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas por ter ensinado-me a obter as “estrelas” e não apenas buscá-las.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é um ato de reconhecimento, o qual indica que não podemos caminhar sozinhos. Sendo assim, quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram em minha formação pessoal, profissional e coleguismo, merecendo destaque:

Inicialmente agradecer à Deus pela inteligência, desenvolvimento emocional para discernir o que as pessoas podem contribuir para minha formação e felicidade, dando-me sempre força e encorajamento para ir além.

À minha mãe Maria de Lourdes da Silva por tudo o que ela sempre fez e faz por mim, em todas as ocasiões, representando a tarefa de mãe e pai, incentivando-me sempre a buscar e conquistar os meus objetivos.

Ao meu namorado Leandro Mendes Ferreira por ser muito especial, por todo apoio, incentivo, compreensão, colaboração, auxílio (construção de banco de dados e organização de dados) e pelo “brilho” que trouxe para minha vida em 2014 e continua trazendo.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr Sílvio Rogério Correia de Freitas, por ter aceito o desafio de me orientar e por ter me proporcionado grandes oportunidades ao longo do doutorado.

Aos meus irmãos: Rayane Taís (adotiva), Sandriano José, Adriana Maria, Lucivânia Maria, Lucivânio José, Adriano José, Cristiano José, Viviane Maria, Luciano José e Cristiana Maria pelo apoio incondicional e trazer para minha vida segurança e vontade de não desistir.

Aos meus sobrinhos que mesmo pequenos mostraram que não se deve desistir trazendo para minha vida muita alegria: Ana Carolina, Illeé Lucian, Adrian José, Maria Júlia, Illiana Hosana e Maria Luiza.

Ao suporte financeiro da Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal do Ensino Superior (Capes) nos primeiros 6 meses de doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através da bolsa de estudos, processo de nº 160309/2013-1, durante os 3 anos e 6 meses de doutorado.

À Associação Internacional de Geodésia (IAG), pela premiação financeira para participação em eventos internacionais.

À Secretaria de Educação do Governo do Estado de Pernambuco: Escola de Referência em Ensino Médio Jornalista Jäder de Andrade – EREMJA, pela concessão de licença integral durante a realização do doutorado. Em especial: Adriana Maria, Aldair Gonçalves, Viviane Salvino e Kênia Rocha.

A minha amiga Betânia Queiroz, pela paciência, incentivo, conversas acolhedoras e por acreditar que eu poderia chegar longe.

Aos meus professores de graduação que mesmo de longe continuaram incentivando-me e tendo paciência nos meus momentos de aflições: Prof. MSc. Esdras Jafet e o Prof. Dr. Saul Campos.

Aos professores: Prof^a. Dr^a. Regiane Dalazoana pelas contribuições nas bancas de Seminário II, Qualificação e Defesa da Tese; Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira e o Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto pelas contribuições na banca de Qualificação; Prof. Dr. Marcelo Tomio Matsuoka pelas contribuições na banca de Defesa da Tese.

Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pelo fornecimento dos dados GNSS da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), os dados maregráficos da Rede Maregráfica Permanente da Geodésia (RMPG) e os dados meteorológicos da estação de Imbituba. E ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo fornecimento dos dados meteorológicos da estação de Florianópolis.

À Engenheira do IBGE Dr^a Sônia Maria Alves Costa pela ajuda e colaboração com os dados GNSS da RBMC e pelas contribuições na banca de Defesa da Tese. Aos Engenheiros do IBGE Alberto Luis da Silva e Marco Aurélio de Almeida Lima pelos primeiros ensinamentos no processamento de dados GNSS no Bernese 5.0.

Ao Prof. Dr. Roberto Teixeira Luz pela ajuda e colaboração com os dados maregráficos da RMPG e pelas contribuições na banca de Defesa da Tese. Ao

engenheiro do IBGE Salomão Soares pela ajuda e colaboração com os dados maregráficos e meteorológicos.

Ao *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* (DGFI) pela disponibilização dos dados provenientes da Altimetria por Satélites.

Ao MSc. Pierre Fridez membro da equipe de *Software Bernese na Astronomical Institute, University of Bern* - AIUB, por todo suporte técnico e científico relacionado ao processamento GNSS no *software Bernese* 5.2.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Em especial a secretária Mônica Kleuser, por toda ajuda, apoio e informações.

Ao Laboratório de Referenciais Geodésicos e Altimetria por Satélites - LARAS pela disponibilização de equipamentos e espaço físico para pesquisa.

Aos amigos de pós-graduação Andrea Tedesco e Luiz Fernando Morescki, por todos os conselhos e amizade; Carla Casaroti pelo convívio diário e amizade; assim como a: Gustavo Ramos, Eurico Nicácio, Maria Engracinda, Mônica Castro, Antônio Cagido, Felipe Costa e Jair Jacomo.

Ao meu amigo Renan Kiski, por ser uma pessoa maravilhosa, pelo incentivo, apoio e amizade.

Ao meu cunhado Diego Mendes Ferreira e a minha sogra Julia Maria Rodrigues por todo apoio e incentivo, principalmente nos últimos três meses de Tese quando me encontrei impossibilitada de caminhar.

Enfim, muito obrigada a todos que de alguma forma, diretamente ou indiretamente, ajudaram-me a chegar até aqui. Terei sempre uma imensa gratidão.

*“Mesmo que encontrar a perfeição das coisas seja impossível, não é impossível
continuar a buscá-la.”*

Luciana Maria da Silva

RESUMO

Atualmente, os temas mais centrais da Geodésia vinculam-se ao provimento de um Sistema de Referência Global único, ao qual possam ser vinculadas de forma unívoca e com acurácia as mudanças globais de caráter geométrico e físico. Neste sentido foram estabelecidas as bases do futuro *Global Geodetic Reference Frame* (GGRF) pelas Nações Unidas em 26 de fevereiro de 2015 com a Resolução (A/RES/69/266). O GGRF visa a melhor estruturação dos Sistemas de Observação da Terra atualmente com perspectivas da determinação das mudanças globais ao nível de uma parte por bilhão, considerando vários parâmetros geométricos e físicos. No *Global Geodetic Observing System* (GGOS) da *International Association of Geodesy* (IAG) o pressuposto de precisão referida é estimado ser atingido em 2020. Em julho de 2015 a IAG estabeleceu o *International Height Reference System* (IHRF). Neste contexto pretende-se que o *International Height Reference Frame* (IHRF), realização do IHRF, possua consistência global de, pelo menos, um centímetro na sua realização e controle espaço/temporal na ordem do milímetro por ano. O GGRF é agora entendido como a associação do tradicional *International Terrestrial Reference Frame* com o IHRF. Os *Data Verticais Nacionais* em todo o mundo devem ser ligados ao IHRF. Considerando esses aspectos, analisou-se a evolução temporal do *Datum Vertical Brasileiro* de Imbituba utilizando dados maregráficos do Nível do Mar dos Bancos de Dados: do *Permanent Service for Mean Sea Level* (1948 a 1968), da *University of Hawaii Sea Level Center* (2001 a 2007) e da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (2006 a 2016), assim como dados de distintas missões altimétricas do período de 1991 a 2015 obtidos do Banco de Dados do *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut - Open Altimeter Database*. Adicionalmente, utilizaram-se as séries temporais obtidas de posicionamento contínuo GNSS do período de 2007 a 2016, as quais foram utilizadas para modelagem dos movimentos locais da crosta. Utilizaram-se os modelos de velocidade para a América do Sul indicados pelo SIRGAS, assim como modelos geológicos e geofísicos. Estes foram utilizados para validação do processamento GNSS e para comparação da componente altimétrica de Imbituba. Os resultados permitiram discriminar os movimentos da crosta em relação ao nível do mar. Para isto, utilizou-se a tendência de variação do nível do mar evidenciada pelo marégrafo, bem como a variação da componente vertical obtida com o processamento GNSS e da *Sea Surface Height* (SSH) obtida dos dados dos satélites altímetros. Após as análises das tendências para estimativa do posicionamento geocêntrico do *Datum Vertical Brasileiro* de Imbituba, obtiveram-se os seguintes resultados: 5,26 mm/ano a tendência do marégrafo; -3,02 mm/ano a subsidência da componente altimétrica; e 2,23 mm/ano a tendência da SSH. Há uma tendência de elevação do NMM na região do *Datum Vertical Brasileiro* de Imbituba pela determinação da variação temporal resultante de aproximadamente + 2,24 mm/ano \pm 0,4 mm/ano.

Palavras chaves: GGOS/IAG; GGRF; IHRF; Nível Médio do Mar, Datum Vertical.

ABSTRACT

Nowadays, the most central themes of Geodesy are linked to the provision of a unique Global Reference System, to which can be tied of unique form and with accurately the geometrical and physical global changes. In this sense, the bases of the future Global Geodetic Reference Frame (GGRF) have been established by the United Nations on February 26, 2015 with the Resolution (A/RES/69/266). The GGRF aims at better structuring Earth Observation Systems currently with prospects of the global changes determination at the level of one part per billion, considering several geometric and physical parameters. In the Global Geodetic Observing System (GGOS) of the International Association of Geodesy (IAG) the referred accuracy presuppose is estimated that to be achieved by 2020. In July 2015 IAG established the International Height Reference System (IHRF). In this context, it is intended that the International Height Reference Frame (IHRF), realization of the IHRF, has an overall consistency of at least one centimeter in its realization and space/temporal control in the order of millimeter per year. The GRRF is, now, understood as the association of the traditional International Terrestrial Reference Frame with the IHRF. National Vertical Data worldwide must be linked to the IHRF. Considering these aspects, it was analyzed the temporal evolution of the Imbituba Brazilian Vertical Datum utilizing tide gauge data from the Sea Level of the databases: Permanent Service for Mean Sea Level (1948 to 1968), University of Hawaii Sea Level Center (2001 to 2007) and Permanent Tide Gauge Network for Geodesy (2006 to 2016), as well as data from different altimetry missions from 1991 to 2015 obtained from the database of the Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut - Open Altimeter Database. Additionally, the temporal series obtained from GNSS continuous positioning from the period 2007 to 2016 were used, which were used to modeling the local movements of the crust. The velocity models for South America indicated by SIRGAS were used, as well as geological and geophysical models. These were used for validation of GNSS processing and for comparison of the up component of Imbituba. The results allowed discriminating the crust movements in relation to the sea level. To achieve it, the trend of sea level variation evidenced by the tide gauge was used, as well as the variation of the vertical component obtained with the GNSS processing and the Sea Surface Height (SSH) obtained from the altimeter satellite data. After that the analyzing of the trend for the estimation of the geocentric positioning of the Imbituba Brazilian Vertical Datum, the following results were obtained: 5.26 mm/year the trend of the tide gauge; -3.02 mm/year the subsidence of the up component; and 2.23 mm/year the trend of the SSH. There is a trend of MSL elevation in the region of Imbituba Brazilian Vertical Datum by the determination the resulting temporal variation approximately + 2.24 mm/year \pm 0.4 mm / year.

Keywords: GGOS/IAG; GGRF; IHRF; Mean Sea Level, Vertical Datum.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIVERSAS APLICAÇÕES CIENTÍFICAS QUE FAZEM USO DOS DADOS DE GRAVIDADE.....	39
FIGURA 2 - DETERMINAÇÃO DA ANOMALIA DA GRAVIDADE	41
FIGURA 3 - ALTITUDE NORMAL E UMA SUPERFÍCIE AUXILIAR: TELUROIDE	57
FIGURA 4 - PILARES DA GEODÉSIA INTEGRADOS A ESTRUTURA DE REFERÊNCIA	60
FIGURA 5 - CONTROLE VERTICAL DAS RNs EM IMBITUBA.....	62
FIGURA 6 - CONTROLE GEODÉSICO DO MARÉGRAFO	63
FIGURA 7 - MONITORAMENTO DA POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA VIA OBSERVAÇÕES COM GNSS E NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	64
FIGURA 8 - DEFINIÇÃO DOS DATA VERTICAIS CLÁSSICOS.....	65
FIGURA 9 - PROBLEMAS RELACIONADOS COM A CONEXÃO DE REDES VERTICAIS.....	66
FIGURA 10 - ESTIMATIVA DA <i>TNMM</i> DO PONTO DE VISTA GEOMÉTRICO.....	68
FIGURA 11 - ESTIMATIVA DA <i>TNMM</i> COM ADOÇÃO DE UM GEOIDE GLOBAL.....	69
FIGURA 12 - RELAÇÕES DA DETERMINAÇÃO DA <i>TNMM</i> VIA ALTIMETRIA POR SATÉLITES E REGISTROS MAREGRÁFICOS.....	69
FIGURA 13 - RELAÇÃO ENTRE O SISTEMA TERRESTRE E O SISTEMA SATELITAL: PROCESSA- MENTO GNSS	72
FIGURA 14 - TRANSFORMAÇÕES DAS COORDENADAS NO SISTEMA TERRESTRE	73
FIGURA 15 - MODELO DE VELOCIDADES PARA AMÉRICA DO SUL E CARIBE (VEMOS2015) RE- FERIDO AO ITRF2008	77
FIGURA 16 - VÍNCULOS ENTRE OS NÍVEIS DE REFERÊNCIA GEODÉSICOS IMPLÍCITOS NA IN- TEGRAÇÃO DE OBSERVAÇÕES E MODELOS GEODÉSICOS	80
FIGURA 17 - NIVELAMENTO ENTRE RNs E A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA.....	82
FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DO DVB-I EM SC ONDE ESTÃO INSTALADAS AS ESTAÇÕES METEO-MAREGRÁFICA E GNSS	87
FIGURA 19 - RELAÇÕES DOS ZEROS DE REFERÊNCIA COM OS NÍVEIS DE REFERÊNCIA EM CARÁTER LOCAL E GLOBAL	88
FIGURA 20 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG.....	91
FIGURA 21 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS NA COSTA BRASILEIRA COM DADOS NO PSMSL.....	94
FIGURA 22 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS NA COSTA BRASILEIRA COM DADOS NO UHSLC	96
FIGURA 23 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PORTOS BRASILEIROS COM DADOS NA DHN	98
FIGURA 24 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES DA RBMC, AS QUAIS FAZEM PARTE TAMBÉM: SIRGAS, IGS, IGB08, RIBAC E TIGA.....	100
FIGURA 25 - TENDÊNCIAS DO NÍVEL DO MAR: 1992-2016, A PARTIR DE MISSÕES DA ALTIME- TRIA POR SATÉLITES: NOAA.....	105
FIGURA 26 - NÍVEL MÉDIO DO MAR GLOBAL A PARTIR DE T/P, JASON-1 E JASON-2.....	105

FIGURA 27 - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA IMPLANTADA EM 2001	108
FIGURA 28 - ESTAÇÃO MAREGRÁFICA LOCALIZADA SOB O CAIS PRINCIPAL DO PORTO DE IMBITUBA	109
FIGURA 29 - RÉGUAS DE MARÉ (CRONOLOGICAMENTE).....	110
FIGURA 30 - ESTAÇÕES DA RBMC (IMBI E IMBT)	111
FIGURA 31 - SÉRIE TEMPORAL DE OBSERVAÇÕES DO NÍVEL D' ÁGUA - MARÇO DE 2013...	113
FIGURA 32 - SÉRIE TEMPORAL DE OBSERVAÇÕES DO NÍVEL D' ÁGUA ANUAL - 2011	113
FIGURA 33 - SÉRIE TEMPORAL, COM OBSERVAÇÕES A CADA 5 MINUTOS, DO MARÉGRAFO DIGITAL DE IMBITUBA DO PERÍODO DE NOVEMBRO DE 2006 A 11 DE JANEIRO DE 2016	115
FIGURA 34 - ANÁLISE DO NÍVEL D'ÁGUA, OBSERVAÇÕES E PREVISÃO DO NM NO MARÉGRA- FO DE IMBITUBA EM ABRIL DE 2013	116
FIGURA 35 - ANÁLISE DO NÍVEL D'ÁGUA, OBSERVAÇÕES E PREVISÃO DO NM NO MARÉGRA- FO DE IMBITUBA EM AGOSTO DE 2014	117
FIGURA 36 - RESULTADOS DO TESTE “VAN DE CASTEELE” EM 16 DE MAIO DE 2014	118
FIGURA 37 - ESPECTRO DA MARÉ EM IMBITUBA NO DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS DAS COMPONENTES DIURNAS.....	122
FIGURA 38 - ESPECTRO DA MARÉ EM IMBITUBA NO DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS DAS COMPONENTES SEMIDIURNAS	122
FIGURA 39 - ESPECTRO DA MARÉ DE IMBITUBA DE 2008 À QUAL FOI RETIRADA OS ÚLTIMOS 8 DADOS DE OBSERVAÇÕES.....	124
FIGURA 40 - ESPECTRO DA MARÉ DE IMBITUBA DE 2008 À QUAL POSSUI AS OBSERVAÇÕES COMPLETAS	124
FIGURA 41 - COEFICIENTES DO FILTRO F_m	129
FIGURA 42 - ZEROS DE REFERÊNCIA EM IMBITUBA	131
FIGURA 43 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DIÁRIAS DOS BDs DA RMPG E DA UHSLC	132
FIGURA 44 - NÍVEL DO MAR MENSAL OBTIDO A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES DO IAGS DE SETEMBRO DE 1948 A DEZEMBRO DE 1968	134
FIGURA 45 - RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES OBTIDOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS DO PSMSL (IAGS) DE SETEMBRO DE 1948 A DEZEMBRO DE 1968.....	134
FIGURA 46 - NÍVEL DO MAR MENSAL OBTIDO A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES DA UHSLC DE AGOSTO DE 2001 A SETEMBRO DE 2007	135
FIGURA 47 - RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES OBTIDOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS DA UHSLC DE AGOSTO DE 2001 A SETEMBRO DE 2007.....	135
FIGURA 48 - NÍVEL DO MAR MENSAL OBTIDO A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES DO IBGE DE NOVEMBRO DE 2006 A JANEIRO DE 2016	136
FIGURA 49 - RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES OBTIDOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS DO IBGE DE NOVEMBRO DE 2006 A JANEIRO DE 2016	136
FIGURA 50 - MÉDIAS ANUAIS DO NÍVEL DO MAR A PARTIR DOS DADOS DO IAGS - PSMSL DO PERÍODO DE 1948 - 1968	137

FIGURA 51 - MÉDIAS ANUAIS DO NÍVEL DO MAR A PARTIR DOS DADOS DA UHSLC DO PERÍODO DE 2001 - 2007	137
FIGURA 52 - MÉDIAS DO NÍVEL DO MAR ANUAL DOS DADOS DO IBGE - RMPG DO PERÍODO DE 2006 - 2016	138
FIGURA 53 - INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS (UHSLC+ RMPG) DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA	139
FIGURA 54 - INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS (IAGS+ UHSLC+ RMPG) DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA	140
FIGURA 55 - ESTAÇÕES UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO GNSS	142
FIGURA 56 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES AO LONGO DO PERÍODO ANALISADO	145
FIGURA 57 - FLUXOGRAMA DO <i>SCRIPT</i> PARA O PROCESSAMENTO DIÁRIO	151
FIGURA 58 - FLUXOGRAMA DO <i>SCRIPT</i> PARA O PROCESSAMENTO SEMANAL	152
FIGURA 59 - LINHAS DE BASE FORMADAS PELA ESTRATÉGIA OBS-MAX PARA A SEMANA GPS 1720, NO DIA 361 DE 2012	156
FIGURA 60 - DIREÇÃO E SENTIDO DA VELOCIDADE DAS ESTAÇÕES PERTENCENTES À RBMC	167
FIGURA 61 - VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM LATITUDE COM A UTILIZAÇÃO DO VEMOS2009 E VEMOS2015	168
FIGURA 62 - VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM LONGITUDE COM A UTILIZAÇÃO DO VEMOS2009 E VEMOS2015	169
FIGURA 63 - REPRESENTAÇÃO DO VETOR RESULTANTE DA VELOCIDADE, COMPARAÇÃO DERIVADA DOS MODELOS NNR-NUVEL1A, APKIM2008 E VALORES CALCULADOS.	173
FIGURA 64 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA SEGUNDO O CRITÉRIO DE KOPPEN	178
FIGURA 65 - NÚMERO DE ESTAÇÕES PROCESSADAS A CADA SEMANA GPS	179
FIGURA 66 - RMS OBTIDO COM O ADDNEQ (EQUAÇÕES NORMAIS SEMANAIS)	180
FIGURA 67 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DAS COORDENADAS FINAIS SEMANAIS	181
FIGURA 68 - RMS DAS COORDENADAS DE IMBITUBA COM PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ESTIMADOS	181
FIGURA 69 - RMS DAS COORDENADAS DE IMBITUBA COM DADOS METEOROLÓGICOS LOCAIS	182
FIGURA 70 - RMS OBTIDO EM ADDNEQ (EQUAÇÕES NORMAIS SEMANAIS) COM A UTILIZAÇÃO DE CORREÇÕES DE CARGA ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA BASEADAS EM MODELOS GLOBAIS E SEM A UTILIZAÇÃO DAS CORREÇÕES	190
FIGURA 71 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DAS COORDENADAS FINAIS SEMANAIS COM O USO DE CORREÇÕES DE CARGA ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA BASEADAS EM MODELOS GLOBAIS E SEM A UTILIZAÇÃO DAS CORREÇÕES	191

FIGURA 72 - RMS DAS COORDENADAS DE IMBITUBA COM A UTILIZAÇÃO DAS CORREÇÕES DA CARGA ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA BASEADAS EM MODELOS GLOBAIS	191
FIGURA 73 - RMS DAS COORDENADAS DE IMBITUBA SEM O USO DA CARGA ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA.....	192
FIGURA 74 - NÚMERO DE ESTAÇÕES PROCESSADAS DAS SEMANAS GPS 1443 A 1877	193
FIGURA 75 - DISPERSÃO DAS SOLUÇÕES SEMANAIS PELO TESTE DO QUI-QUADRADO	193
FIGURA 76 - PARÂMETROS DE TRANSLAÇÃO DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L e UP.....	194
FIGURA 77 - DESVIO PADRÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSLAÇÃO DAS SOLUÇÕES SEMANAIS	195
FIGURA 78 - RMS OBTIDO EM ADDNEQ DAS SOLUÇÕES FINAIS (EQUAÇÕES NORMAIS SEMANAIS).....	195
FIGURA 79 - RMS DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DAS COORDENADAS FINAIS SEMANAIS.....	196
FIGURA 80 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO BRAZ	197
FIGURA 81 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO BRFT	198
FIGURA 82 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO CHPI	198
FIGURA 83 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO POVE.....	199
FIGURA 84 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO RECF	200
FIGURA 85 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO SALU	200
FIGURA 86 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO SAVO.....	201
FIGURA 87 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO UFPR.....	201
FIGURA 88 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO IMBT	202
FIGURA 89 - VARIAÇÃO TEMPORAL, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO E VELOCIDADE DA COMPONENTE NORTE DA ESTAÇÃO IMBT	203
FIGURA 90 - VARIAÇÃO TEMPORAL, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO E VELOCIDADE DA COMPONENTE LESTE DA ESTAÇÃO IMBT	204
FIGURA 91 - VARIAÇÃO TEMPORAL, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO E VELOCIDADE DA COMPONENTE VERTICAL DA ESTAÇÃO IMBT	204
FIGURA 92 - PERÍODO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS ADVINDOS DA ALTIMETRIA POR SATELITE	212

FIGURA 93 - DISTRIBUIÇÃO DE DADOS SSH EM UMA CÉLULA DA MISSÃO JASON-2.....	213
FIGURA 94 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA CÉLULA NA TRILHA DO SATÉLITE	213
FIGURA 95 - TRILHAS ORIGINAIS DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS T/P E JASON-2, ENVISAT-1 E GFO.....	214
FIGURA 96 - SÉRIE INTERPOLADA E REAMOSTRADA DE IMBITUBA, DADOS DISPONIBILIZADOS PELA RMPG	216
FIGURA 97 - SÉRIE INTERPOLADA E REAMOSTRADA DE IMBITUBA, DADOS DISPONIBILIZADOS PELA UHSLC	217
FIGURA 98 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS MAREGRÁFICA E DA MISSÃO ALTIMÉTRICA JASON-2.....	218
FIGURA 99 - DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS MAREGRÁFICA E DA MISSÃO ALTIMÉTRICA JASON-2.....	219
FIGURA 100 - QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEIS EM CADA CÉLULA DA SÉRIE TEMPORAL DA MISSÃO JASON-2	219
FIGURA 101 - COMPARAÇÃO RELATIVA DAS SÉRIES TEMPORAIS DA CÉLULA 478.....	220
FIGURA 102 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS APÓS A CORREÇÃO DE MARÉ	221
FIGURA 103 - DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS APÓS CORREÇÃO DE MARÉ	221
FIGURA 104 - EFEITOS DA CORREÇÃO DE MARÉ NOS DADOS DE ALTIMETRIA DA MISSÃO JASON-2 PARA A CÉLULA 478.....	222
FIGURA 105 - COMPARAÇÃO RELATIVA DAS SÉRIES TEMPORAIS MAREGRÁFICAS E DA SSH APÓS A CORREÇÃO DE MARÉ PARA A CÉLULA 478	223
FIGURA 106 - SÉRIE EXTRAPOLADA DOS DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITE DA MISSÃO JASON-2 COM CORREÇÃO DE MARÉ	226
FIGURA 107 - SÉRIE EXTRAPOLADA DOS DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITE DAS MISSÕES T/P E JASON-1 COM CORREÇÃO DE MARÉ.....	227
FIGURA 108 - TREND DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS DO PERÍODO DE 1992 A 2015	231
FIGURA 109 - SÉRIE TEMPORAL DAS OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICA E DOS DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITE NO MESMO INSTANTE	232
FIGURA 110 - SÉRIE TEMPORAL DO NMM NO DVB-I.....	233
FIGURA 111 - ESTIMATIVA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR DE IMBITUBA A PARTIR DE INFORMAÇÕES DA AVISO.....	235

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CONSTANTES GEOMÉTRICAS E FÍSICAS PARA O SGR80.....	44
TABELA 2 - VALORES DAS CONSTANTES FUNDAMENTAIS DA GEODÉSIA DO SGR 1967 E SGR 1980, COM AS RESPECTIVAS ACURÁCIAS.....	46
TABELA 3 - DISCREPÂNCIAS ACEITAS NO NIVELAMENTO PRÓXIMO AO MARÉGRAFO	82
TABELA 4 - RELAÇÕES DOS ZERO DE REFERÊNCIA COM OS NÍVEIS DE REFERÊNCIA DO DVB-I.....	89
TABELA 5 - ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG	92
TABELA 6 - ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA COSTA BRASILEIRA COM DADOS NO PSMSL	95
TABELA 7 - ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA COSTA BRASILEIRA COM DADOS NA UHSLC	96
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DO NMM NO DVB-I.....	102
TABELA 9 - PRECISÕES DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DO NMM NO DVB-I	104
TABELA 10 - TÉCNICA DE RASTREIO E SUAS PRECISÕES.....	104
TABELA 11 - DESNÍVEL ENTRE OS “ZEROS” DO ENCODER E DA RÉGUA MAREGRÁFICA.....	119
TABELA 12 - DESNÍVEL ENTRE OS “ZEROS” DO MAREGRAMA E DA RÉGUA MAREGRÁFICA	119
TABELA 13 - DESNÍVEL ENTRE OS “ZEROS” DO SENSOR DE PRESSÃO E DA RÉGUA MAREGRÁFICA	119
TABELA 14 - CARACTERÍSTICAS DAS PRINCIPAIS COMPONENTES HARMÔNICAS.....	120
TABELA 15 - PRINCIPAIS COMPONENTES HARMÔNICAS DA MARÉ EM IMBITUBA	125
TABELA 16 - CLASSIFICAÇÃO DA MARÉ	126
TABELA 17 - COEFICIENTES DO FILTRO F_m	128
TABELA 18 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VALORES MÉDIOS MENSAIS ANTES E APÓS A FILTRAGEM DOS DADOS DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA DO BD DO IBGE - RMPG.....	130
TABELA 19 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS DAS OBSERVAÇÕES MENSAIS DO NÍVEL DO MAR PROVENIENTES DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA DO BD DO PSMSL, DO IBGE E DA UHSLC	132
TABELA 20 - ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO DAS OBSERVAÇÕES MENSAIS DO NÍVEL DO MAR PROVENIENTES DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA (PSMSL, UHSLC, IBGE)	133
TABELA 21 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS DAS OBSERVAÇÕES ANUAIS DO NÍVEL DO MAR PROVENIENTES DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA DO BD DO PSMSL, DA UHSLC E DO IBGE.....	139
TABELA 22 - DIFERENÇA DAS MÉDIAS ANUAIS DOS DADOS DOS BDs DO PSMSL, DO IBGE E DA UHSLC	139
TABELA 23 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE DIAS E SEMANAS GPS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO.....	142
TABELA 24 - ANO E AS ESTAÇÕES UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO GNSS	143
TABELA 25 - PERCENTUAL DA DISPONIBILIDADE DE OBSERVAÇÕES PARA AS ESTAÇÕES	143

TABELA 26 - MODELOS DE RECEPTORES E DE ANTENAS, E ALTURA DAS ANTENAS	146
TABELA 27 - SIGLA DAS ESTAÇÕES, ALTURA DAS ANTENAS (M) E AS DISTINTAS ÉPOCAS UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO	148
TABELA 28 - COORDENADAS E VELOCIDADES DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA EM IGB08	153
TABELA 29 - DIFERENÇAS DA VARIAÇÃO EM LATITUDE E EM LONGITUDE OBTIDAS COM A COMPARAÇÃO DO VEMOS2009 E VEMOS2015	170
TABELA 30 - VELOCIDADES DERIVADAS DO VEMOS2009, VEMOS2015 E DO PROCESSAMENTO PARA ESTAÇÃO IMBT	171
TABELA 31 - COMPARAÇÃO ENTRE OS VETORES DE ROTAÇÃO DA PLACA SOAM	172
TABELA 32 - COMPARAÇÃO ENTRE OS VETORES DE ROTAÇÃO DA PLACA SOAM EM COORDENADAS ESFÉRICAS	173
TABELA 33 - COMPONENTES DAS VELOCIDADES A PARTIR DO NNR-NUVEL1A, APKIM2008 E A SOLUÇÃO CALCULADA PARA ESTAÇÃO IMBT	174
TABELA 34 - CORREÇÕES LOCAL E GLOBAL DA CARGA ATMOSFÉRICA EM IMBITUBA	185
TABELA 35 - CORREÇÃO DA CARGA OCEÂNICA EM IMBITUBA - MODELO FES2004 (GLOBAL)	188
TABELA 36 - CORREÇÃO DA CARGA OCEÂNICA EM IMBITUBA - (LOCAL)	188
TABELA 37 - ANÁLISE DO RMS DAS COMPONENTES DA ESTAÇÃO IMBT	202
TABELA 38 - PARÂMETROS RELEVANTES DOS ELIPSOIDES DE REFERÊNCIA	211
TABELA 39 - CICLOS E PASSES DAS MISSÃO ALTIMÉTRICAS UTILIZADOS NA ANÁLISE	218
TABELA 40 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ANTES E APÓS A CORREÇÃO DE MARÉ	222
TABELA 41 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ANTES E APÓS A CORREÇÃO DE MARÉ DOS DADOS DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS	223
TABELA 42 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS APÓS A EXTRAPOLAÇÃO	227
TABELA 43 - TENDÊNCIAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO NMM	229
TABELA 44 - TENDÊNCIAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO NMM NO DVB-I	230

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - <i>DATUM</i> E SISTEMA DE ALTITUDES EM UMA VISÃO CLÁSSICA E MODERNA	56
QUADRO 2 - PRINCIPAIS INFORMAÇÕES UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS	150

LISTA DE SIGLA E ABREVIATURAS

ALUMAR	-Consórcio de Alumínio do Maranhão
APKIM	-Actual Plate Kinematic Model
APPA	-Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina
BD	-Banco de Dados
BPE	-Bernese Processing Engine
CDI	-Companhia Docas de Imbituba
CEMB	-Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras
Cfa	-Verão quente
CHAMP	-CHAllenging Minisatellite Payload
CHM	-Centro de Hidrografia da Marinha
CIRAM	-Centro de Informações de Recursos Ambientais e de - Hidrometeorologia de Santa Catarina
CM	-Centro de Massa da Terra
CMQ	-Colocação por Mínimos Quadrados
CNES	-Centre National d'Etudes Spatiales
COASTALT	-Project on "Development of Radar Altimetry Data Processing in the Coastal Zone
CODE	-Center for Orbit Determination in Europe
COMPASS ou Beidou-2	-Compass Navigation System ou BeiDou Navigation Satellite System
COPPE	-Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CV	-Companhia Vale
Cwc	-Verão curto e fresco
DCB	-Differential (P1-C1) Code Biases
DGFI	-Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut
DGPS	-Differential GPS
DHESP	-Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo
DHN	-Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNPRC	-Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais
DNPVN	-Departamento Nacional de Portos e vias Navegáveis
DORIS	-Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite
DOT	-Dynamic Ocean Topography
DP	-Desvio Padrão
DV	-Datum Vertical
DVB-I	-Datum Vertical Brasileiro de Imbituba
DVB-S	-Datum Vertical Brasileiro de Santana
DVG	-Datum Vertical Global

DVL	-Datum Vertical Local
DVs	-Data Verticais
ECMWF	-European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EGM2008	-Earth Gravitational Model 2008
EGM96	-Earth Gravitational Model 1996
EOP	-Earth Orientation Parameters - Parâmetros de Orientação da Terra
EPAGRI	-Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EVAMARIA	-Projeto Enterprise for Verification of Anomalies in Mean Sea Level by Satellite Altimetry and Tide Gauge Records in the North Atlantic
FEMAR	-Fundação de Estudos do Mar
FFT	-Fast Fourier Transform - Transformada Rápida de Fourier
GALILEO	-European Satellite Navigation System
GGOS	-Global Geodetic Observing System
GGRF	-Global Geodetic Reference Frame
GGRS	-Global Geodetic Reference System
GLONASS	-Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema - Sistema Global de Navegação por Satélite
GLOSS	-Global Sea Level Observing System
GMF	-Global Mapping Function
GNSS	-Global Navigation Satellite System - Sistemas Globais de Navegação por Satélites
GOCE	-Gravity Field and Steady - State Ocean Circulation Explorer
GOT99.2b	-Global Ocean Tide Model
GPS	-Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global
GRACE	-Gravity Recovery And Climate Experiment
GRS80	-Geodetic Reference System 1980
IAG	-International Association of Geodesy
IAGS	-Inter-American Geodetic Survey
IBGE	-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICET	-International Centre for Earth Tides
ICGEM	-International Centre for Global Earth Models
IEAPM	-Instituto de Estudo do Mar Almirante Paulo Moreira
IERS	-International Earth Rotation and Reference System Service
IGb08	-Atualização do IGS08
IGS	-International GNSS Service
IGSN-71	-International Gravity Standardization Net 1971
IHRF	-International Height Reference Frame
IHRS	-International Height Reference System

IMBI atual IMBT	-Imbituba
IMF	-Isobaric Mapping Function
INMET	-Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPH	-Instituto de Pesquisas Hidroviárias
IO	-Instituto Oceanográfico
IOC	-Intergovernmental Oceanographic Commission
ISPS Code	-International Ship and Port Facility Security Code
ISRO	-Indian Space Research Organization
ITRF	-International Terrestrial Reference Frame
ITRS	-International Terrestrial Reference System
IUGG	-International Union of Geodesy and Geophysics
IVS	-International VLBI Service for Geodesy and Astrometry
LARAS	-Laboratório de Referenciais Geodésicos e Altimetria por Satélites
LLR	-Lunar Laser Ranging
LPAO	-Laboratório de Pesquisas Atmosféricas e Oceânicas
LRA	-Laser Retroreflector Array
MA	-Milhões por Ano
MAPGEO	-Modelo de Ondulação Geoidal
Máx	-Máxima
MBR	-Minerações Brasileiras Reunidas
MDAs	-Modelos Digitais de Altitude
MDT	-Mean Ocean Dynamic Topography Models - Topografia Dinâmica Média
MGGAs	-Modelos Globais do Geopotencial Adaptado
MGGCs	-Modelos Globais do Geopotencial Combinado
MGGs	-Modelos Globais do Geopotencial
MGGsS	-Modelos Globais do Geopotencial apenas com dados de Satélite
MICROARS	-Microars Engenharia: Portos e Hidrovias, Eficiência Energética e Telecomunicações
Min	-Mínima
MMQ	-Método dos Mínimos Quadrados
MSS	-Mean Sea Surface - Modelo Global da Superfície Média do Mar
MVC	-Matriz Variância-Covariância
NM	-Nível do Mar
NMF	-Niell Mapping Function
NMM	-Nível Médio do Mar
NNR-NUVEL-1A	-No Net Rotation - Northwestern University VElocity model 1A
NOAA	-National Oceanic and Atmospheric Administration
NOS	-National Ocean Service

NRs	-Níveis de Referência
NTRIP	-Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OBT	-Observação da Terra
ONU	-Organização das Nações Unidas
OpenADB	-Open Altimeter Database
ORSTOM	-Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement em Coopération
PDPB	-Plano de Desenvolvimento Portuário do Brasil
Portobrás	-Empresa de Portos do Brasil S.A
PPN	-Política Portuária Nacional
PR	-Paraná
PRARE	-Precise Range And Range-Rate Equipment
PSMSL	-Permanent Service for Mean Sea Level
PVCG	-Problema do Valor do Contorno da Geodésia
QIF	-Quasi-Ionosphere Free
RBMC	-Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
Rede SIRGAS-CON	-Rede GNSS SIRGAS de operação Contínua
REVEL	-Recent Plate Velocities
RIBaC	-Rede Incra de Bases Comunitárias do GNSS
RINEX	-Receiver Independent Exchange Format
RMPG	-Rede Maregráfica Permanente para Geodésia
RMS	-Root Medium Square - Raiz Média Quadrada
RNs	-Referências de Nível
RNX2SNX	-RINEX para SINEX
RS	-Rio Grande do Sul
RTK	-Real Time Kinematic
RVF	-Rede Vertical Fundamental
RVFB	-Rede Vertical Fundamental do Brasil
RVRs	-Redes Verticais de Referência
SBFX	-Estação Meteorológica de Florianópolis
SC	-Santa Catarina
SF	-Superfície Física da Terra
SGB	-Sistema Geodésico Brasileiro
SGRs	-Sistemas Geodésicos de Referência
SHOM	-Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SI	-Sistema Internacional
SINEX	-Software Independent Exchange
SIRGAS	-Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SisBaHia® 9.0	-Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental
SLR	-Satellite Laser Ranging

SMM	-Sistema de Maré Média ou Mean Tide
SMPs	-Sistemas de Maré Permanente
SMR	-Sistema de Maré Removida ou Tide Free
SMZ	-Sistema de Maré Zero ou Zero Tide
SOAM	-Placa da América do Sul
SSH	-Sea Surface Height
SSTop	-Sea Surface Topography
SVR	-Sistema Vertical de Referência
SVRG	-Sistema Vertical de Referência Global
SVRI	-Sistema Vertical de Referência Internacional
T/P	-Topex/Poseidon
TEC	-Total Electrons Contents - Conteúdo Total de Elétrons
TIGA	-Projeto IGS Tide Gauge Benchmark Monitoring Pilot Project
TMs	-Tábuas de Maré
TNMM	-Topografia do NMM
UF	-Unidade Federativa
UFPR	-Universidade Federal do Paraná
UHSLC	-University of Hawaii Sea Level Center
UNB	- Universidade de Brasília
UN-GGIM	-United Nations Global Geospatial Information Management
USP	-Universidade de São Paulo
Var	-Variância
VEMOS	-VELOCITY MOdel of Sirgas - Modelo de Velocidade do SIRGAS
VLBI	-Very Long Baseline Interferometry
VMF	-Vienna Mapping Function
WADGPS	-Wide Area Differential GPS

LISTA DE SÍMBOLOS

Φ	Potencial do Campo Centrífugo
ζ	Anomalia de Altitude ou Altitude Quase Geoidal
$(X_{t_0}, Y_{t_0}, Z_{t_0})$	Coordenadas na Época de Definição do Sistema Geodésico de Referência
$(X_{t_i}, Y_{t_i}, Z_{t_i})$	Coordenadas na Época de Observação
(V_X, V_Y, V_Z)	Componentes de Velocidade do Ponto
(X'_P, Y'_P, Z'_P)	Coordenadas das Estações
(X_S, Y_S, Z_S)	Coordenadas dos Satélites
$(t_i - t_o)$	Diferença do Tempo da Época de Observação em Relação à Época de Definição do Referencial
(Φ, Λ)	Coordenadas do Polo de Rotação
(Φ, Λ, ω)	Parâmetros da Placa
(ω)	Velocidade de Rotação da Placa
ψ	Distância Angular entre o Ponto Calculado e o Ponto de Carregamento ou Correção
$(\vec{\Omega})$	Vetor de Euler
C_{P_i}	Número Geopotencial em um Sistema com Origem Arbitrária O_i
$\dot{T}_1, \dot{T}_2, \dot{T}_3, \dot{D}, \dot{R}_1, \dot{R}_2, \dot{R}_3$	As Primeiras Derivadas de $T_1, T_2, T_3, D, R_1, R_2, R_3$ - As Variações Temporais
\vec{g}_P	Vetor Gravidade no Ponto P
\vec{x}_i	Vetor Representado pela Latitude e Longitude Geodésica
$\vec{\gamma}_Q$	Vetor Gravidade Normal em Q
$[\varepsilon]^t$	Matriz de Rotação Transposta
$(\Delta \vec{x}_i)$	Movimento Diferencial de um Ponto $P_i(\vec{x}_i)$ sobre a Placa k
(Δt)	Intervalo de Tempo
$\vec{\nabla}$	Operador Gradiente
\bar{h}	Coeficiente Angular da Reta
h_{NMM}	Altitude Elipsoidal do NMM
h'_n, l'_n	Número de Love
Σ_n	Matriz Variância - Covariância
Σ_n^{-1}	Matriz dos Pesos
Ω_x, Ω_y e Ω_z	Vetores de Rotação Geocêntricos
A_i	Matriz Composta pelas Coordenadas de cada Solução s
\vec{C}	Força Centrífuga Específica.
C_{nm} e S_{nm}	Coeficientes de Stokes dos Harmônicos Esféricos
\vec{F}	Força Gravitacional Específica (ou por unidade de massa)

$G_R(\psi)$	Função de Carga de Green
G_m	Valor Médio da Gravidade
H_{MQ}	Amplitude Máxima na Quadratura
H_M	Amplitude Máxima de Sizígia
H^{obs}	Desnível Observado
$[I]$	Matriz Identidade
$J_2 = -C_{2,0}$	Fator Dinâmico de Forma ou Fator Dinâmico Associado com o Achatamento Terrestre
M_T	Massa da Terra
N_{MGG}	Altitude Geoidal dada por um MGG
P_n	Polinômio de Legendre
$P_{nm}(\cos\theta)$	Polinômios de Legendre Associado ao grau n e ordem m .
R_1, R_2, R_3	Rotações
R_M	Raio Médio da Terra
T_1, T_2, T_3	Translações entre as Posições do Centro de Massa
W_i	Valor do Geopotencial em um Ponto
W_o	Geopotencial na Superfície do Geoide
\vec{g}	Vetor da Gravidade
g_0^2	Gravidade Média
g_m^{obs}	Média dos Valores Observados da Gravidade
l_0	Distância Euclidiana do Ponto de Cálculo P
$m_h(e), m_w(e)$	Funções de Mapeamento Hidrostática e Úmida e “ e ” Ângulo de Elevação do Satélite
$\vec{q}(\vec{r}, \vec{r})$	Vetor Unitário
\bar{r}	Coeficiente Linear
t_i	Período Associado a y_i
y_i	Valor das Observações da Variável Registrada
γ_P	Gravidade Normal no Polo
γ_e	Gravidade Normal no Equador
γ_i	Gravidade Normal no Elipsoide de Nível para a Latitude do Ponto i
$\delta\vec{g}_g$	Vetor do Distúrbio da Gravidade
ρ_w	Densidade Média da Água do Mar
$-\Delta W_P$	Diferenças do Potencial
$\Delta\vec{g}$	Vetor da Anomalia da Gravidade
$\Delta P(\vec{r}, t)$	Variações da Pressão da Superfície
$1 + \delta$	Fator de Escala
a	Semieixo Maior do Elipsoide de Referência
ah, aw	Componentes Hdrostáticas e Úmidas
b	Semieixo Menor do Elipsoide de Referência

d	Distância entre Pontos
G	Ângulos de Fases
h	Altitude Elipsoidal
H	Altitude Ortométrica
H	Amplitudes em Análise Harmônica
H^N	Altitude Normal
K	Número Total de Seções
k	Média da Distância Nivelada/Contra Nivelada
N	Altitude Geoidal
r	Distância Radial para o Geocentro
T	Potencial Anômalo ou Perturbador
Tzh	Atraso da Componente Hidrostática
Tzw	Atraso da Componente Úmida
U	Esferopotencial ou Potencial da Gravidade Teórica ou Modelo Terra Normal
V	Potencial do Campo Gravitacional da Terra
V_N	Potencial do Campo Gravitacional do Modelo Normal
$X(t_o)$	Coordenadas na Época Inicial
$X'(t_i)$	Coordenadas de uma Nova Estação (Atual)
$yyyy$	Época de Referência da Realização
σ	Desvio Padrão da Média
ω	Velocidade Angular da Terra
F	Número de Forma
GM	Constante Gravitacional Geocêntrica
W	Geopotencial da Terra Real
l	Distância entre o Ponto de Cálculo e o Ponto Variável de Integração
n	Direção Normal à Superfície S
r, θ, λ	Coordenadas Geocêntricas Esféricas
α	Azimute do Centro da Malha
γ	Gravidade Normal sobre a Terra Normal
$\zeta(\theta', \lambda')$	Altitude da Maré Oceânica na Malha
θ	Co-latidade
λ	Longitude Geodésica
ξ	Matriz dos Parâmetros de Transformação
φ	Latitude Geodésica
YYO	Indica os dois Últimos Dígitos do Ano da Observação

SUMÁRIO

1 PROLEGÔMENOS	29
1.1 INTRODUÇÃO	29
1.2 PROBLEMA	31
1.3 HIPÓTESE	31
1.4 OBJETIVOS	32
1.4.1 Objetivo Geral	32
1.4.2 Objetivos Específicos	32
1.5 JUSTIFICATIVA	33
1.6 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	35
1.7 ESTRUTURA DA PESQUISA	36
2. DEMANDAS GLOBAIS PARA REFERENCIAL VERTICAL: FUNDAMENTOS	38
2.1 CAMPO DA GRAVIDADE TERRESTRE	38
2.1.1 Potencial Anômalo	40
2.1.2 Definições da Anomalia e Distúrbio da Gravidade	41
2.1.3 Modelos Globais do Geopotencial (MGGs)	44
2.2 NÚMERO GEOPOTENCIAL	48
2.3 UNITED NATIONS GLOBAL GEOSPATIAL INFORMATION MANAGEMENT	52
2.3.1 GGRS e GGRF	52
2.4 RELAÇÃO ENTRE O IHRS E O PVCG	56
2.5 MUDANÇAS GLOBAIS E POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO DV	59
2.6 ASPECTOS CLÁSSICOS E ATUAIS ASSOCIADOS NA DEFINIÇÃO DE UM DATUM VERTICAL	64
2.7 GEOIDE GLOBAL E A TNMM	66
2.8 VELOCIDADES E MOVIMENTO DAS PLACAS	70
2.9 A CONTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE POSICIONAMENTO TRIDIMENSIONAL NOS ESTUDOS DA GEODINÂMICA	79
3. ASPECTOS GERAIS DO DVB E ANTECEDENTES	85
3.1 DATUM VERTICAL BRASILEIRO DE IMBITUBA	85
3.2 DADOS DISPONÍVEIS PARA ANÁLISE DO NÍVEL DO MAR NO DVB-I: MARÉGRAFOS	90
3.3 DADOS DISPONÍVEIS PARA ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DA CROSTA NO DVB-I: GNSS	99
3.4 DADOS PARA ANÁLISE DO NÍVEL MÉDIO DO MAR NO DVB-I: ALTIMETRIA POR SATÉLITES	101
3.5 EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO DVB-I	107
4. ASPECTOS ACERCA DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR NO DVB-I	112
4.1 OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS CONSIDERADAS	112
4.1.1 Verificação do Marégrafo de Imbituba – Teste Van De Casteele	115
4.2 ANÁLISE HARMÔNICA DA MARÉ	120
4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS MAREGRÁFICOS	127
4.4 INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DAS OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS	130

5. ASPECTOS ACERCA DOS MOVIMENTOS DA CROSTA, EUSTÁTICOS, APARENTES E RESULTANTES NO DVB-I	141
5.1 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DAS ESTAÇÕES GNSS UTILIZADOS	141
5.1.1 Preparação dos Dados GNSS para o Processamento	145
5.2 ESTRATÉGIAS PARA O PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS NO SOFTWARE BERNESE	149
5.2.1 Propagação de Coordenadas	153
5.2.2 Preparação dos arquivos referentes às coordenadas do Polo e Órbitas	154
5.2.3 Pré-Processamento	155
5.2.4 Processamento	157
5.3 ESTRATÉGIAS PARA OBTENÇÃO DAS SOLUÇÕES SEMANAIS	159
5.4 CRIAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS DO PROCESSAMENTO GNSS	164
5.5 MODELOS DE VELOCIDADES	166
5.5.1 Modelo de Velocidade SIRGAS	166
5.5.2 Modelo de Velocidade Geológico e Geofísico	171
5.6 MODELO DA IONOSFERA	174
5.7 MODELO DA TROPOSFERA E DADOS METEOROLÓGICOS	175
5.8 MODELO DE CARGA ATMOSFÉRICA	182
5.9 MODELO DE CARGA OCEÂNICA	185
5.10 SÉRIES TEMPORAIS DAS OBSERVAÇÕES GNSS DO DVB-I	192
6. INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DOS DADOS MAREGRÁFICOS, OBSERVAÇÕES GNSS E DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES	206
6.1 VANTAGENS DA INTEGRAÇÃO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS COM ALTIMETRIA POR SATÉLITES	206
6.2 ABORDAGENS GERAIS DA COMPARAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO NMM A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS E DOS DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES	207
6.3 DADOS UTILIZADOS PROVENIENTES DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS	210
6.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS DE ALTIMETRIA POR SATÉLITES	215
6.5 EXTRAPOLAÇÃO DOS DADOS DE ALTIMETRIA POR SATÉLITES	225
6.6 DETERMINAÇÃO DO POSICIONAMENTO GEOCÊNTRICO DO DVB-I	228
6.7 INTEGRAÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL DOS DADOS MAREGRÁFICOS SEM EFEITO DA CROSTA COM OS DADOS DE ALTIMETRIA POR SATÉLITES	231
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	236
7.1 CONCLUSÃO	236
7.2 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	239
REFERÊNCIAS	240
APÊNDICES	265
1. INSTITUIÇÕES QUE DISPONIBILIZAM INFORMAÇÕES DE MARÉ A DHN	265
2. ESTAÇÕES DISPONÍVEIS NA RBMC, SIRGAS, IGS, IGB08, RIBAC E TIGA	267

3. ATUALIZAÇÕES DAS ESTAÇÕES DA RBMC	270
--	-----

1 PROLEGÔMENOS

1.1 INTRODUÇÃO

A Geodésia moderna provê os fundamentos científicos e os métodos de observações de grandezas associadas com a determinação e modelagem da superfície da Terra, bem como do seu campo da gravidade externo e rotação: os “três pilares” da Geodésia. Estes pilares são fundamentais para o estabelecimento de Sistemas Geodésicos de Referência (SGR) modernos (IAG, 2016a). Tais aspectos são variáveis no tempo e afetam o Sistema Terra, composto por Geosfera, Biosfera, Atmosfera, Criosfera e Hidrosfera. Em cada um destes segmentos, devem ser examinadas suas relações e implicações nos demais para a correta análise das mudanças globais.

As mudanças no Sistema Terra têm como principais focos de análises, as redistribuições de massas observadas a partir da superfície ou do exterior da Terra, as quais se refletem principalmente nos aspectos geocinemáticos, nas variações do campo da gravidade e na rotação da Terra. O *Global Geodetic Observing System* (GGOS) se constitui na base científica e na infraestrutura geodésica necessária ao acompanhamento das mudanças globais. Este, no presente, consiste na principal linha de interação global da Geodésia com os demais campos do conhecimento humano, coordenada pela *International Association of Geodesy* (IAG) (GGOS, 2016).

Os três temas centrais do GGOS relacionados com as mudanças globais são (GGOS, 2016): *Theme 1 - International Height Reference System (IHR)*; *Theme 2 - Geohazards Monitoring*; *Theme 3 - Sea Level Changes, Variability, and Forecasting*. O IHR foi consolidado na Resolução nº 1 da IAG em julho de 2015 (IAG, 2015) e sua realização global está sendo discutida no âmbito do GGOS (IAG, 2016b). Com as especificações em 04/2016, atendendo a Resolução de 26 de fevereiro de 2015, há discussões em relação aos elementos de materialização do *Global Geodetic Reference Frame* (GGRF) como realização do *Global Geodetic Reference System* (GGRS). Um dos aspectos mais presentes nas discussões das mudanças globais é o associado à evolução do Nível Médio do Mar (NMM), principalmente quando se observa a evolução em áreas costeiras, em vista dos

impactos diretos sobre as áreas que usualmente apresentam a maior concentração de ocupação humana. Tal aspecto é enfatizado em Smith et al. (2010).

Do ponto de vista geodésico e considerando principalmente os temas 1 e 3 do GGOS, há que se discutir os aspectos geocinemáticos da interação oceano-continente, fundamentais para a definição e realização de um Sistema Vertical de Referência (SVR) dentro de uma perspectiva de unicidade global (DE FREITAS, 2015). As interações dos continentes com os oceanos e a atmosfera devem ser analisadas em relação à resposta dinâmica da Terra, de modo a permitir a discriminação de movimentos seculares e periódicos e efeitos de carregamentos esporádicos tais como os associados à passagem de frentes meteorológicas (VANDAM et al., 1994; LUZ et al., 2009).

Em uma visão moderna, o *Datum* Vertical (DV) deve ser relacionado com uma referência global única, tal como previsto na Resolução nº 1 da IAG que estabeleceu, em julho de 2015, o IHRs (IAG, 2015) baseado em um valor unívoco de geopotencial e que as coordenadas verticais primárias nas Redes Verticais de Referência (RVRs) sejam os números geopotenciais. A questão do valor unívoco foi discutida em Sánchez et al. (2012). As exigências atuais relativamente aos SVRs e RVRs têm sua fundamentação expressa principalmente nos pressupostos do GGOS. Para tanto, foi estabelecido um novo grupo de trabalho no contexto do GGOS em 2016: *Strategy for the Realization of the IHRs* (Chair L. Sanchez), IAG (2016c).

O maior problema implícito relativamente aos *Data* Verticais (DVs) na atualidade é o do entendimento dos movimentos efetivos da crosta e do NMM discriminando movimentos eustáticos e tectônicos. A forma efetiva de discriminar esses movimentos é o monitoramento da posição geocêntrica dos marégrafos costeiros (DE FREITAS et al., 1998; DALAZOANA et al., 2005a; DA SILVA et al., 2016). Marégrafos instalados ao longo da linha de costa registram, portanto, os movimentos relativos do Nível do Mar (NM) e crosta, não discriminando os movimentos próprios de cada segmento. A integração dos dois segmentos pode ser melhor discriminada com a inserção de observações oriundas da altimetria por satélites (BOUMAN et al., 2010; CSIRO Marine and Atmospheric Research, 2016).

Os satélites altímetros possibilitam a construção de Modelo Global da Superfície Média do Mar (MSS – *Mean Sea Surface*) bem como da sua evolução temporal relativamente ao elipsoide de referência adotado (*Dynamic Ocean*

Topography – DOT) e em referência a um geoide global (*Sea Surface Topography* – SSTop, com o nome já difundido em Português, de Topografia do NMM - *TNMM*).

O *Datum* Vertical Brasileiro de Imbituba (DVB-I) e o *Datum* Vertical Brasileiro de Santana (DVB-S) foram estabelecidos dentro de um conceito clássico, onde se utiliza o NMM observado durante um certo período, adotando-se como a altitude de referência zero para redes altimétricas nacionais (LUZ, 2008). Muitos países, assim como o Brasil, possuem mais de um DV em vista de impossibilidades físicas de conexão de todos os segmentos de suas redes altimétricas. Mais de uma centena de DVs são assim definidos e realizados em todo o mundo (DE FREITAS et al., 2002a). O DVB-I é referência nacional predominante, onde mais de 90% da Rede Vertical Fundamental do Brasil (RVFB) está a ele referenciada. Assim, as análises neste trabalho são centradas sobre o DVB-I.

Neste trabalho utilizaram-se séries temporais de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System* - Sistemas Globais de Navegação por Satélites) junto ao DVB-I. Estas séries de coordenadas geocêntricas são associadas então, com séries temporais de observações maregráficas e de observações advindas dos satélites altímetros, buscando-se determinar a evolução temporal do DVB-I no IHRS.

1.2 PROBLEMA

Como estimar a evolução temporal do DVB-I da época de implantação até a época atual, envolvendo a estimativa de possíveis movimentos verticais da crosta, de forma a permitir a estimativa de variações do nível do mar relacionadas com uma realização do *International Terrestrial Reference System* (ITRS) com origem no Centro de Massa da Terra (CM) e com o *International Height Reference System* (IHRS)?

1.3 HIPÓTESE

Se a integração de distintas técnicas, tais como Altimetria por Satélites e dados de marégrafos podem ser empregadas na análise da evolução do NMM, adicionalmente com o uso de dados GNSS para a detecção de movimentos de crosta, então, a partir da integração destas técnicas pode-se desenvolver modelos de variação temporal e evitar que movimentos verticais de crosta sejam

interpretados como variações somente do NMM, mantendo-se assim o acompanhamento da posição geocêntrica de um *Datum* Vertical local.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Analisar a evolução temporal do *Datum* Vertical Brasileiro de Imbituba a partir dos efeitos relacionados com o movimento da crosta e com a evolução do Nível Médio do Mar local.

1.4.2 Objetivos Específicos

Na busca pela análise da evolução temporal do DVB-I e de sua modelagem com a utilização de dados provenientes de séries temporais do posicionamento GNSS, de observações maregráficas e dados provenientes da altimetria por satélites, são previstos os seguintes objetivos específicos:

1. Resgatar séries temporais de observações da posição geocêntrica do DVB-I com GNSS, de forma a possibilitar a geração de modelo próprio de velocidade e comparação com modelos regionais existentes;
2. Resgatar as informações do nível do mar provenientes dos dados registrados no marégrafo no DVB-I;
3. Analisar a tendência temporal do NMM no DVB-I discriminando movimentos do NMM e da crosta por intermédio dos dados maregráficos integrados com séries temporais do posicionamento GNSS;
4. Comparar os resultados da evolução do DVB-I obtidos a partir dos dados das observações maregráficas e dos dados de missões de Altimetria por Satélites;
5. Modelar a evolução temporal do DVB-I para sua integração com o IHRs.

1.5 JUSTIFICATIVA

A investigação de aspectos ligados às atividades humanas e seus impactos na interface oceano-continente visando ao estabelecimento de estratégias para proteção ambiental e mitigação de riscos tem como um dos pilares essenciais o referenciamento espacial das informações. Os sistemas geodésicos de referência cumprem papel fundamental para a definição, realização de redes geodésicas de referência e acompanhamento da evolução temporal das estruturas costeiras e do NMM. Estes preceitos estão difundidos nos protocolos da Agenda - 21, ocorrida em 1992, da Organização das Nações Unidas (ONU) e os respectivos pressupostos geodésicos consolidados no GGOS, estabelecidos no âmbito da *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG) e IAG por recomendações da ONU.

Desde uma escala regional até a global, os oceanos, que ocupam mais de 70% da superfície da Terra e aproximam-se ± 2 m de uma superfície equipotencial ou de nível (geoide global), apresentam-se como elementos fundamentais para a compreensão física do comportamento planetário. Esta compreensão tem inúmeras implicações no âmbito científico bem como em aplicações práticas. Os oceanos respondem como uma membrana sensível à distribuição de massas e suas variações temporais. Formam uma superfície sujeita a diversos efeitos estáticos, cinemáticos e dinâmicos, a partir da qual é possível efetivar-se análises em diversos âmbitos, considerando-se condições de contorno, tais como as de equilíbrio estérico e geostrófico, bem como as de continuidade e conservação de massa (DALAZOANA e DE FREITAS, 2009).

A Geodésia passou a exercer papel fundamental nos Sistemas de Observação da Terra: O GGOS (PLAG e PEARLMAN, 2009). Neste contexto, desde o referenciamento espacial das informações em escala local até a global, os fundamentos e métodos da Geodésia para posicionamento, monitoramento e predição são entendidos como fundamentais na descrição morfológica, evolução temporal e monitoramento de transporte de massas. Estes são requisitos fundamentais para ações de gestão da hidrosfera e suas interações com outros componentes do sistema Terra (GGOS, 2016).

Segundo Altamini et al. (2001), existem uma série de aplicações, onde se exige a integração de dados espaciais, advindos de distintas fontes, de forma que, a referência das informações horizontais e verticais sejam feitas em um sistema único,

satisfatoriamente definido e materializado. Cabe salientar que o problema da unificação surgiu, principalmente, a partir da necessidade de estudos do âmbito regional e para uma abrangência global (LEHMANN, 2000). Onde muitas vezes, faz-se necessário a conexão de informações de distintos países (DALAZOANA, 2006).

Na Geodésia é necessário definir referências únicas para as redes verticais e horizontais, devido principalmente à difusão dos sistemas globais de posicionamento, denominados genericamente de GNSS. O GNSS é composto de quatro constelações: GPS (*Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global), GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya System* - Sistema Global de Navegação por Satélite), GALILEO (*European Satellite Navigation System*), e atualmente uma constelação completa do COMPASS ou Beidou-2 (*Compass Navigation System* ou *Beidou Navigation Satellite System*).

Em relação à integração de estações maregráficas à RVFB, existem dificuldades devido à pequena quantidade de dados e as distintas fontes dos equipamentos, além dos procedimentos envolvidos na coleta dos mesmos (LUZ, 2008). No início da década de 1990, algumas estações foram desativadas, inclusive a estação de Imbituba, após a extinção da Empresa de Portos do Brasil S.A.(Portobrás), (IBGE, 1997a).

Segundo Luz (2008), as estações desativadas e as que continuaram em operação, mostravam padrões operacionais incompatíveis com as exigências geodésicas, principalmente no que diz respeito ao controle dos níveis de referência. Em busca de resolver a situação, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2001, começou a implantação da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), com o objetivo de realizar o monitoramento contínuo do NM ao longo da costa brasileira. Com base na estrutura da RMPG podem ser detectadas algumas inconsistências em dados temporais e que necessitam ser resolvidas, como por exemplo, investigação de novos modelos, para a conexão de séries temporais atuais com as antigas e com as diversas edições históricas dos ajustamentos da RVFB, em vista do desconhecimento dos movimentos eustáticos e epirogênicos nos pontos de observações maregráficas.

Dalazoana (2006) aponta que a recuperação e análise das séries temporais de dados maregráficos é um aspecto quase que essencial para entender a evolução do NMM em uma região. A análise de variações absolutas do NM a partir de dados maregráficos requer que a posição geocêntrica dos maregrafos seja monitorada ao

longo do tempo, logo a existência de uma estação GNSS ativa sobre ou nas proximidades dos marégrafos é primordial. Sendo assim, com a implantação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) possibilitou detectar os possíveis movimentos da crosta a partir de dados GNSS. As séries das observações GNSS adicionalmente com as séries das observações maregráficas são utilizadas para analisar as variações absolutas do NM na costa brasileira, e assim comparar e integrar estas séries com dados de Altimetria por Satélites.

A proposta de adoção de um referencial geocêntrico e sua caracterização dinâmica foi a principal motivação para o desenvolvimento de um estudo geodinâmico apoiado no GNSS. As estações pertencentes às redes de rastreo contínuo por satélites GNSS, como é o caso das estações da RBMC, permitem dentre outras informações, o monitoramento da variação temporal das coordenadas (COSTA, 1999). Dentre as aplicações com relevância para este trabalho, busca-se a detecção da variação do NMM com base em dados provenientes do monitoramento do nível do mar e de movimentos crustais com diferentes sensores, visando detectar sua posição e sua variabilidade no tempo em um IHRs (DA SILVA e DE FREITAS, 2015).

1.6 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Diante dos aspectos até aqui apresentados, a principal contribuição desta Pesquisa de Doutorado é determinar a evolução temporal do DVB-I da época de implantação até a época atual, a partir de dados maregráficos provenientes de distintos bancos de dados, processamento de observações GNSS utilizando *software* científico e dados provenientes de altimetria por satélites utilizando distintas missões. Outros dados foram de grande importância no estudo, tais como: modelo de ionosfera, modelo de troposfera, dados de carga oceânica, modelos de velocidade, observações meteorológicas locais, entre outros. E assim, possibilitou a atualização da posição geocêntrica do DVB-I.

Em vista de abordar tópicos de vanguarda no contexto atual das atividades do GGOS/IAG, considera-se que esta pesquisa é de interesse para a Comunidade Científica das Ciências Geodésicas e que poderá trazer contribuição inédita. A

metodologia desenvolvida pode ser aplicada em vários outros países. Assim, contribuirá com os pressupostos geodésicos consolidados no GGOS.

1.7 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este trabalho está organizado em 7 capítulos. No capítulo 2 são discutidos os aspectos teóricos relacionados aos fundamentos das demandas globais para Referencial Vertical. Inicialmente apresentam-se os conceitos básicos do campo da gravidade terrestre. O número geopotencial é discutido relacionado aos Modelos Globais do Geopotencial (MGGs). São apresentados os principais aspectos relacionados à integração de redes verticais e a caracterização de um DV moderno, assim como, as variações temporais e espaciais do NMM. Ainda neste capítulo apresentam-se a relação entre o IHRS e o Problema do Valor do Contorno da Geodésia (PVCG), além dos modelos de velocidade e as tecnologias de posicionamento.

No capítulo 3, descrevem-se os principais aspectos relacionados com o DVB-I, ressaltando o acompanhamento temporal e de sua posição geocêntrica. Destacam-se as campanhas multiparamétricas realizadas com diversas contribuições institucionais, e estudos desenvolvidos no âmbito da modernização da RVFB e da sua realização. Adicionalmente, as atividades desenvolvidas na região do DVB-I, visando à obtenção de séries temporais de observações maregráficas da RMPG e de posicionamento GNSS da estação RBMC IMBT pertencente à Rede GNSS SIRGAS de operação Contínua (Rede SIRGAS-CON) e as séries temporais provenientes da Altimetria por Satélite.

No capítulo 4, discutem-se os aspectos da metodologia a ser aplicada com respeito ao NMM, questões relacionadas à análise harmônica, processamento de dados e a integração de distintas séries temporais. No capítulo 5, apresentam-se os aspectos da metodologia e estudos realizados, visando discriminar o movimento da crosta no DVB-I a partir do processamento de dados GNSS no *software* Bernese 5.2, adicionalmente com modelos de troposfera e ionosfera, correção de carga oceânica, correção da carga atmosférica, entre outros detalhes.

No capítulo 6 apresentam-se os resultados e análise da integração de dados advindos da altimetria por satélites com dados maregráficos e das séries temporais

dos dados GNSS. Finalmente, no capítulo 7 serão apresentadas as conclusões, assim como recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

2. DEMANDAS GLOBAIS PARA REFERENCIAL VERTICAL: FUNDAMENTOS

No presente capítulo, apresentam-se os principais conceitos associados ao Sistema e Redes Verticais de Referência (SVR e RVRs) como embasamento para o desenvolvimento da metodologia desta pesquisa que será apresentada nos capítulos subsequentes.

2.1 CAMPO DA GRAVIDADE TERRESTRE

A gravidade, em um ponto na Superfície Física da Terra (SF), é a resultante da ação gravitacional que é a atração exercida pelas massas terrestres e do efeito centrífugo, que é a consequência do movimento de rotação da Terra, (GEMAEL, 1999). Ambos os efeitos podem ser descritos como forças por unidade de massa, sendo a gravidade expressa com a seguinte equação:

$$\vec{g} = \vec{F} + \vec{C} \quad (01)$$

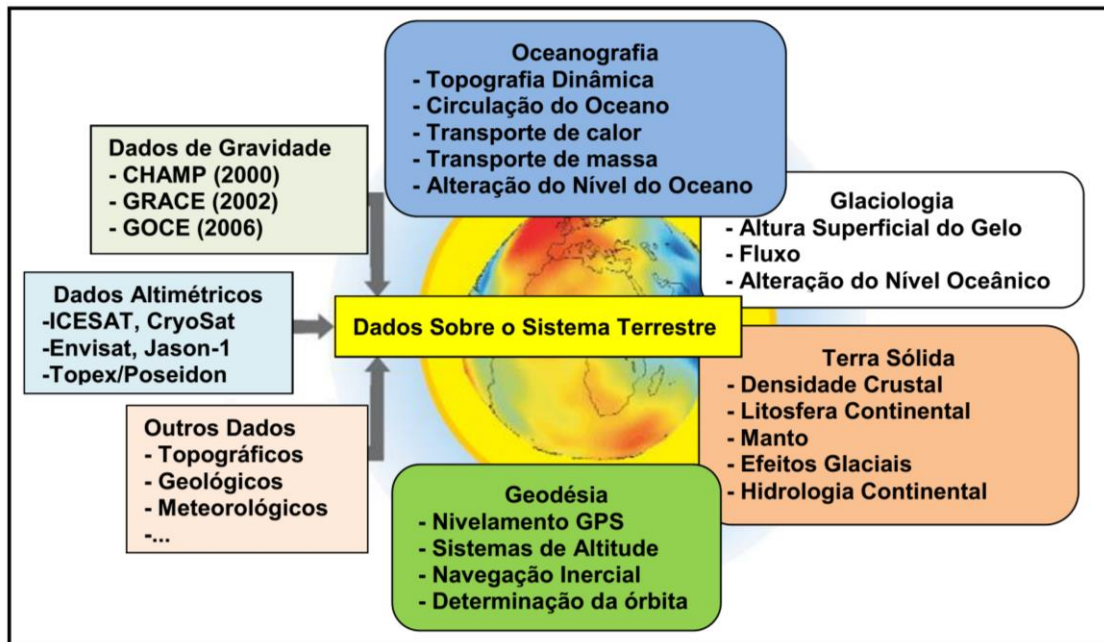
Na equação (01) tem-se que: \vec{g} é o vetor da gravidade; \vec{F} é a Força Gravitacional Específica (ou por unidade de massa) e \vec{C} é a Força Centrífuga Específica. O campo da gravidade é um campo vetorial e possui magnitude, direção e sentido. A magnitude, por sua vez, é um escalar com unidade de gravidade; a direção é a vertical no ponto considerado; e o sentido é o do vetor gravidade.

O valor do módulo do vetor gravidade, ou simplesmente o módulo da gravidade pode ser obtido com determinações absolutas e relativas. Segundo Torge (2001), as determinações absolutas proporcionam diretamente o valor de gravidade para uma estação, enquanto que as relativas exigem a ocupação de ao menos duas estações para a obtenção da diferença de gravidade entre as mesmas.

As variações dos valores de gravidade ocorrem por distintas razões. Dentre elas pode-se destacar: efeitos atmosféricos, achatamento dos polos, variações de latitude e altitude, movimento de rotação da Terra, atração do Sol e da Lua, heterogeneidade da distribuição e da densidade das massas, entre outras. Estas variações produzem heterogeneidades na estrutura do campo da gravidade, relativamente a uma distribuição esférica regular e, por conseguinte em superfícies

equipotenciais ou de nível. Estes efeitos das heterogeneidades nas superfícies de nível estão intimamente vinculados com efeitos físicos na determinação de altitudes. A Figura 1 mostra diversas aplicações científicas que fazem uso de dados da gravidade em relação ao Sistema Terrestre.

FIGURA 1 - DIVERSAS APLICAÇÕES CIENTÍFICAS QUE FAZEM USO DOS DADOS DE GRAVIDADE



FONTE: Adaptado de Jamur (2007), *apud* Abart (2005).

Como apresentado na Figura 1, observa-se que estudos relacionados com a Geodésia, Geofísica, Oceanografia e fenômenos de mudança climática necessitam de um melhor conhecimento do campo da gravidade da Terra. Sendo fundamental também para o estabelecimento e manutenção de sistemas de tempo. Nas aplicações geodésicas, ao serem realizadas as medidas da gravidade na SF obtêm-se informações sobre os efeitos das massas do corpo planetário e de sua atmosfera no ponto onde a medida é realizada. Na Geofísica e Geologia um conjunto de observações sobre a superfície pode possibilitar o conhecimento da distribuição de massa no interior da Terra. Já nas aplicações Geodinâmicas realiza-se uma sequência de medidas repetidamente no mesmo ponto em distintas épocas, possibilitando o estudo das variações temporais.

2.1.1 Potencial Anômalo

O geopotencial W da Terra real é produzido pela adição do potencial gravitacional V da Terra com o potencial centrífugo Φ produzido por sua rotação. Este é expresso na forma da equação (02):

$$W = V + \Phi \quad (02)$$

Para o estabelecimento de um modelo normal da Terra é atribuída ao elipsoide de referência à mesma massa e mesma velocidade angular da Terra real, de forma que, se obtém o esferopotencial U dado pela adição do potencial gravitacional V_N do modelo normal com o potencial centrífugo idêntico ao da Terra real já que este só depende da posição e velocidade angular, na forma da equação (03):

$$U = V_N + \Phi \quad (03)$$

O potencial anômalo ou perturbador (T) é a diferença entre o geopotencial e o esferopotencial no mesmo ponto, conforme pode ser expresso na equação (04), segundo Heiskanen e Moritz (1985, p. 82):

$$T = W - U = V - V_N \quad (04)$$

T descreve variações de grandezas físicas e geométricas da Terra real relativamente ao modelo normal. Essas variações são decorrentes da distribuição heterogênea de massa da Terra. O geopotencial não é harmônico no exterior das massas, pois seu laplaciano é diferente de zero e dado por $\Delta W = 2\omega$. Porém, observa-se que com o desenvolvimento da equação (04), o potencial centrífugo é eliminado e o potencial perturbador é uma função harmônica no exterior da Terra, dado por $\Delta T = 0$ (Equação de Laplace), satisfazendo a equação de Laplace. Esta propriedade é importante por referir-se à possibilidade de decomposição harmônica desta grandeza tal como permitida pelo desenvolvimento em harmônicos esféricos, base dos atuais Modelos Globais do Geopotencial (MGGs), os quais têm qualidade

suficiente para muitas aplicações científicas e tecnológicas. Na seção 2.1.3 serão abordados tais modelos hoje tidos como fundamentais para o Sistema Vertical de Referência Internacional (SVRI, em *Inglês Internacional Height Reference System – IHRS*).

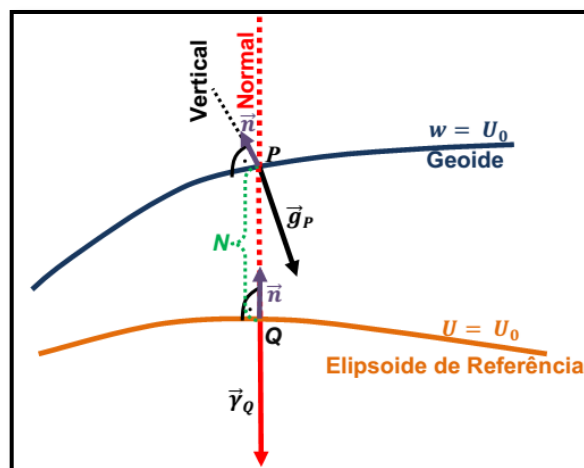
2.1.2 Definições da Anomalia e Distúrbio da Gravidade

Considerando o vetor gravidade \vec{g}_P no ponto P e o vetor gravidade normal $\vec{\gamma}_Q$ em Q , o vetor anomalia da gravidade $\Delta\vec{g}$ é definido como a diferença apresentada na equação (05) e conforme a Figura 2:

$$\Delta\vec{g} = \vec{g}_P - \vec{\gamma}_Q \quad (05)$$

Devido às próximas definições que serão apresentadas nos subcapítulos seguintes, assumiu-se que o elipsoide de referência coincide com uma das superfícies equipotenciais (potencial normal), denotado por U_0 , como se apresenta na Figura 2.

FIGURA 2 - DETERMINAÇÃO DA ANOMALIA DA GRAVIDADE



FONTE: Adaptado de Vaníček (1976, p. 81)

A magnitude do vetor anomalia da gravidade no ponto P é expressa na equação (06), conforme Hofmann-Wellenhof e Moritz (2005, p. 6):

$$\Delta g_P = g_P - \gamma_Q \quad (06)$$

O vetor da gravidade \vec{g} pode ser aproximado por um vetor da gravidade normal $\vec{\gamma}$ em relação a um mesmo ponto P . Sendo assim, obtém-se o vetor da distúrbio da gravidade apresentado na equação (07) (TORGE, 2001, p. 233):

$$\delta\vec{g}_P = \vec{g}_P - \vec{\gamma}_P \quad (07)$$

Negligenciando o pequeno ângulo entre as direções de g_P e γ_P (deflexão da vertical), obtém-se a magnitude, permitindo escrever o módulo do vetor do distúrbio da gravidade, equação (08) (TORGE, 2001, p. 233):

$$\delta g_P = g_P - \gamma_P \quad (08)$$

Baseado na Figura 2 e na equação (04), considerando um ponto P , por definição tem-se que o esferopotencial na superfície do elipsoide de referência U_0 é igual ao geopotencial na superfície do geoide W_0 . Pode-se escrever que: $\frac{\partial W}{\partial n} = -g$, $\frac{\partial U}{\partial n'} = -\gamma$ e $U_P - U_Q = -\gamma_Q N$, reescrevendo a equação (04) como equação (09):

$$W_P = U_Q - \gamma_Q N + T_P \quad (09)$$

Como $W_P = U_0$, realizando o desenvolvimento da equação (09) obtém-se a Fórmula de Bruns ou também a chamada Equação Fundamental da Geodésia Física, como se apresenta na equação (10):

$$T_P = \gamma_Q N \quad (10)$$

Na equação (10), N é altitude geoidal. Ressalta-se que o cálculo de γ_Q é feito de forma simples, possibilitando associar T_P com N . Reescrevendo a equação (10), obtém-se a equação (11):

$$N = \frac{T_{\text{Geoide}}}{\gamma_{\text{elipode}}} \quad (11)$$

A determinação da gravidade normalmente é feita na SF, desta forma o valor de g_p no geoide é obtido com base em reduções do valor da gravidade observado. O valor da gravidade normal γ é dado sobre a superfície de referência (Terra normal). Esta varia em função somente da latitude φ , e uma de suas determinações, por exemplo, é dada pela fórmula de *Somigliana*, equação (12):

$$\gamma = \frac{a\gamma_e \cos^2\varphi + b\gamma_p \sin^2\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2\varphi + b^2 \sin^2\varphi}} \quad (12)$$

Na equação (12), γ_e é a gravidade normal no equador; γ_p é a gravidade normal no polo, a é o semieixo maior do elipsoide e b é o semieixo menor do elipsoide. Para um ponto qualquer com altitude elipsoidal h , o valor da gravidade normal neste ponto é dado, de forma rigorosa, pela equação (13):

$$\gamma_h = \gamma - \frac{2\gamma_e}{a}(1 + f + m - 2f \sin^2\varphi)h + \frac{3\gamma_e}{a^2}h^2 \quad (13)$$

Considerando uma simplificação dada pelo valor médio do gradiente da gravidade normal, a equação (13) pode ser reescrita na equação (14):

$$\gamma_h = \gamma - 0,3086h \quad (14)$$

Para solucionar as equações (12) e (13) são necessárias algumas constantes físicas e geométricas, conforme se apresenta na Tabela 1, referidas ao Sistema Geodésico de Referência 1980 (SGR 80, em inglês *Geodetic Reference System 1980 - GRS80*).

O SGR80 é a base do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), cuja última realização por campanha ocorreu na época 2000,4. Com a concepção da Rede SIRGAS-CON, o SIRGAS é frequentemente atualizado com base em soluções semanais das estações em operação contínua e que estão ativas (SIRGAS, 2016a). A realização do SGR do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) está vinculado ao SIRGAS, sendo definido com base no ITRF2000 (*International Terrestrial Reference Frame*), época 2000,4 utilizando o conjunto de convenções do ITRS. A evolução dos ITRFs é coordenada pelo IERS (*International Earth Rotation*

and Reference System Service). Informações complementares podem ser obtidas em IERS (2016a).

TABELA 1 - CONSTANTES GEOMÉTRICAS E FÍSICAS PARA O SGR80

PARÂMETROS	CONSTANTE	VALOR
Gravidade Normal no Equador	γ_e	9,7803267715 m.s ⁻²
Gravidade Normal no Polo	γ_p	9,8321863685 m.s ⁻²
Semieixo menor	b	6.356.752, 141 m
Achatamento	f	0,00335281068118
Forças Específicas no raio Equatorial	m	0,00344978600308
Potencial Normal do Elipsoide	U_0	62636860.850 m ² s ⁻²
Semieixo maior	a	6378137 m
Velocidade Angular	ω	7292115 * 10 ⁻¹¹ rad/s
Constante Gravitacional Geocêntrica	GM	398600,5 * 10 ⁹ m ³ s ⁻²
Fator Dinâmico da Terra livre de maré	J_2	108263 * 10 ⁻⁸

FONTE: Adaptado de Moritz (2000)

2.1.3 Modelos Globais do Geopotencial (MGGs)

Nos MGGs encontram-se informações referentes às diversas funcionais associadas ao campo da gravidade externo da Terra.

As análises das perturbações gravitacionais sobre as órbitas de satélites próximos da Terra, a partir de meados da década de 1960, foram fundamentais para o desenvolvimento dos primeiros MGGs (KAULA, 1966). Estes apresentaram acurácia limitada e eram representados em desenvolvimentos baseados em harmônicos esféricos, principalmente até os graus e ordens menores ou iguais a 30, portanto, apresentavam resoluções espaciais limitadas na ordem de 660 km. Nos trabalhos de Kaula (1966) foram utilizados os primeiros satélites artificiais para criar o primeiro MGG em escala global. Uma breve fundamentação destes importantes modelos é apresentada a seguir.

O potencial gravitacional pode ser expresso em um sistema com origem no centro de massa, como mostra a equação (15), por (TORGE, 2001, p. 70):

$$V(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta) \right] \quad (15)$$

Na equação (15), (r, θ, λ) são as coordenadas geocêntricas esféricas da posição do ponto de cálculo, sendo r a distância radial para o geocentro, θ a colatitude e λ a longitude; GM é a Constante Gravitacional Geocêntrica; C_{nm} e S_{nm} são os coeficientes de Stokes dos harmônicos esféricos do potencial (e.g. TORGE, 2001, p. 72); a é o semieixo maior do elipsoide de referência e $P_{nm}(\cos\theta)$ são os polinômios de Legendre associados com grau n e ordem m .

Os coeficientes de Stokes estão associados à distribuição de massas no corpo planetário. Na atualidade eles podem ser determinados a partir de observações associadas à: gravimetria terrestre, aérea e marinha; análise orbital de satélites próximos à Terra, missões gravimétricas por satélites, altimetria radar dos oceanos e Modelos Digitais de Altitude (MDAs) em associação com modelos de densidade da crosta para determinação do sinal gravitacional das massas anômalas.

O geopotencial W é obtido da adição do potencial gravitacional gerado pela atração gravitacional das massas da Terra incluindo a atmosfera com o potencial centrífugo. É dado pela equação (16), segundo (GEMAEL, 1999, p.120), onde o geopotencial é expresso em um sistema com origem no centro de massa.

$$W(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos\theta) \right] + \frac{1}{2} r_p^2 \omega^2 \quad (16)$$

Na equação (16) observa-se que o geopotencial depende das constantes fundamentais da Geodésia: a (semieixo maior), $J_2 = -C_{2,0}$ (fator dinâmico de forma ou fator dinâmico associado com o achatamento terrestre), GM (constante gravitacional geocêntrica da Terra, incluída sua atmosfera) e ω (velocidade angular da Terra). Estas constantes fundamentais determinam de forma unívoca um elipsoide de referência e seu campo da gravidade normal (LAMBECK, 1988). Segundo Torge (1991, p. 68), na Assembleia Geral da *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG) em Canberra (1979), os valores das constantes fundamentais no SGR 1967 foram substituídos pelo SGR 1980, como mostra a Tabela 2. E as respectivas acurácias das constantes obtidas para o SGR 1980.

TABELA 2 - VALORES DAS CONSTANTES FUNDAMENTAIS DA GEODÉSIA DO SGR 1967 E SGR 1980, COM AS RESPECTIVAS ACURÁCIAS

CONSTANTES	SGR 1967	SGR 1980	ACURÁCIA
a	6.378.160	6.378.137 m	$\pm 3 * 10^{-7}$
GM	$398.603 * 10^9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	$398.600,5 * 10^9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	$\pm 1 * 10^{-7}$
J_2	$1.082,7 * 10^{-6}$	$1.082,63 * 10^{-6}$	$\pm 5 * 10^{-6}$
ω	$7.292.115 * 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$	$7.292.115 * 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$	-

FONTE: Adaptado de Torge (1991, p. 68)

Os MGGs desenvolvidos em harmônicos esféricos têm uma melhor resolução tanto quanto forem mais elevados o grau n e ordem m do desenvolvimento. Vale ressaltar que não existem coeficientes de grau 1 (C_{10} ; C_{11} ; S_{11}), considerados iguais a zero porque estes coeficientes estão associados aos momentos de 1ª ordem que são as coordenadas do Centro de Massa da Terra (CM), por definição iguais a zero. O desenvolvimento do modelo até o grau 2 ($n = 2$) e ordem 0 ($m = 0$) resulta na expressão bastante aproximada do modelo da Terra Normal se abstraídos os coeficientes zonais ($m = 0$) pares, para $n > 2$, que nada mais é do que o modelo baseado no elipsoide de referência, ao qual se atribui a mesma massa e velocidade angular da Terra real e se considera sua superfície equipotencial. Este modelo Terra Normal produz em um ponto o esferopotencial U que representa mais de 99,9% do W da Terra real no mesmo ponto. Sendo U constituído pelo potencial gravitacional normal V_N e pelo potencial centrífugo Φ , como apresentado na equação (03) e representado na equação (17), considerando as coordenadas geocêntricas esféricas da posição do ponto de cálculo (HEISKANEN e MORITZ, 1967a):

$$U(r, \theta, \lambda) = V_N(r, \theta, \lambda) + \Phi(r, \theta, \lambda) \quad (17)$$

Na equação (17), V_N é o potencial gravitacional do modelo normal e Φ é o potencial centrífugo, cuja superfície limitante deste modelo é equipotencial, ou seja, satisfaz a condição apresentada na equação (18):

$$U(r, \theta, \lambda) = \text{constante} \quad (18)$$

Portanto, a equação (16) pode ser escrita de forma simplificada como apresentado na equação (19):

$$W = V_N + T + \Phi \quad (19)$$

O desenvolvimento dos MGGs em funções harmônicas possibilita a representação de valores associados com diferentes comprimentos de onda em função dos graus e ordens do desenvolvimento. Esta representação se constitui na mais utilizada técnica de representação do campo da gravidade externo da Terra (GEMAEL, 1999). Os MGGs de forma genérica compreendem um conjunto de coeficientes harmônicos esféricos e polinômios de Legendre normalizados, relacionados aos diferentes comprimentos de onda, em associação com características do campo da gravidade externo da Terra. Estes modelos são limitados a um determinado grau e ordem de desenvolvimento. O que um modelo não representa pelo seu truncamento a um grau e ordem denomina-se de erro de omissão ou truncamento. Os erros implícitos nos coeficientes determinados e abrangidos pelo modelo, denomina-se erro de comissão ou erro implícito. A escolha dos MGGs a serem utilizados costuma estar associada à forma com que eles se ajustam ao campo de gravidade local ou àqueles modelos que possam incorporar mais facilmente observações regionais e locais, tais como gravidade observada e MDAs (FEATHERSTONE, 2002).

As deficiências de resolução de caráter regional, em geral, são tratadas com a incorporação de informações gravimétricas, e as locais podem ser sanadas se as heterogeneidades locais que causam os denominados efeitos do terreno forem modeladas. No entanto, a incorporação de informações regionais e locais, em geral, traz problemas relacionados com o aumento dos erros de comissão em vista da integração de informações em diferentes SGRs.

De acordo com Featherstone (2002), os MGGs podem ser divididos em três classes: Modelos Globais do Geopotencial apenas com dados de Satélite (MGGSSs), Modelos Globais do Geopotencial Combinado (MGGCs) com outras fontes de dados e Modelos Globais do Geopotencial Adaptado (MGGAs) em determinada região. Detalhes destes modelos podem ser vistos em: Vaníček e Sjöberg (1991); Rummel et al. (2002); Flury e Rummel (2005); Jamur (2007); Gerlach e Rummel (2013) e na página do *International Centre for Global Earth Models* (ICGEM, 2016).

Diante do que foi apresentando anteriormente vale ressaltar que o campo da gravidade terrestre pode ser decomposto em bandas de frequências com os correspondentes comprimentos de onda envolvidos, usualmente tratados dentro de uma modelagem harmônica, em vista das necessidades das aplicações.

2.2 NÚMERO GEOPOTENCIAL

Define-se como geopotencial ou potencial da gravidade da Terra à grandeza, cuja unidade é a de energia por unidade de massa, cuja equação (02) é reapresentada pela equação (20):

$$W = V + \Phi \quad (20)$$

Deve-se destacar a propriedade fundamental do geopotencial que é a do seu gradiente em um ponto ser igual ao vetor gravidade neste mesmo ponto, conforme dado pela equação (21), uma reapresentação da equação (01) apresentada na seção 2.1:

$$\vec{\nabla}W = \vec{\nabla}V + \vec{\nabla}\Phi = \vec{F} + \vec{C} = \vec{g} \quad (21)$$

Onde $\vec{\nabla}$ é o operador gradiente. O geopotencial pode ser modelado por uma parte regular e uma parte anômala, ou seja, de perturbações a este modelo regular. É importante enfatizar que da equação (02 ou 20) o geopotencial pode ser reapresentado com a equação (22):

$$W(r, \theta, \lambda) = V(r, \theta, \lambda) + \Phi(r, \theta, \lambda) \quad (22)$$

Na equação (22), (r, θ, λ) são as coordenadas geocêntricas esféricas (distância radial do geocentro, colatitude e longitude) do ponto de cálculo de W, V e Φ . O potencial centrífugo é obtido por $\Phi = \omega^2 * \frac{r_p^2}{2}$, sendo que, r_p é a distância do ponto de análise ao eixo de rotação da Terra e ω é a velocidade angular da Terra. Com base na equação (04), tem-se que U_p é o Esferopotencial ou Potencial da gravidade teórica no ponto P , situado na SF, calculado com base no

esferopotencial U_0 no denominado elipsoide de nível ou Modelo Terra Normal e T_P é o Potencial Perturbador, em um ponto P . O esferopotencial em um ponto acima do elipsoide de nível é dado pela equação (23):

$$U_P = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h} h_P \quad (23)$$

No exterior das massas atrativas, o potencial gravitacional é uma função harmônica e, portanto, satisfaz a equação de Laplace (24):

$$\Delta V(r, \theta, \lambda) = \nabla^2 V(r, \theta, \lambda) = 0 \quad (24)$$

Onde $\Delta(\text{função escalar}) = \nabla^2(\text{função escalar})$ com ∇^2 sendo o quadrado do vetor gradiente. As superfícies equipotenciais do campo de gravidade real satisfazem a condição, apresentada na equação (25):

$$W(r, \theta, \lambda) = \text{constante} \quad (25)$$

Segundo Hofmann-Wellenhof e Moritz (2006), a escolha de uma superfície equipotencial de referência (usualmente entendida como o geóide) é expressa pelo geopotencial W_0 e as coordenadas verticais primárias (IAG, 2015) são dadas pela equação (26):

$$C_P = W_0 - W_P \quad (26)$$

Na equação (26), C_P é o número geopotencial e W_P é o valor do geopotencial considerando um ponto P . As altitudes métricas em um Sistema K com significado físico são obtidas de um número geopotencial em geral pela equação (27):

$$H_B^K = \frac{C_P}{G_m} \quad (27)$$

Na equação (27), G_m é o valor médio da gravidade obtido de acordo com algum critério que irá caracterizar o Sistema de Altitude, como determinado pela

Resolução Nº 16 da IAG (IAG, 1983), abordado por Mäkinen e Ihde (2009) e De Freitas et al. (2007a). O geopotencial é a base para definição de coordenadas verticais com características físicas. O valor do geopotencial no geoide não é nulo. O número geopotencial C_{Pi} em um sistema com origem arbitrária Oi , é definido como a diferença entre os geopotenciais no geoide local W_{Oi} e no ponto considerado, como mostra a equação (28) a seguir:

$$C_{Pi} = W_{Oi} - W_P = \int_{Oi}^P g \, dH \approx \sum_{i=1}^k (g_m^{obs} \Delta H^{obs}) \quad (28)$$

Na equação (28), g_m^{obs} é a média dos valores observados da gravidade em cada par de pontos nivelados; ΔH^{obs} é o desnível observado, e K o número total de seções (TORGE, 2001, p. 208). Vale ressaltar que esta equação é válida para um sistema vertical particular ou local. Considerando a equação (04) pode-se reescrever a equação (26), a partir da equação (29):

$$C_P = W_0 - W_P = W_0 - (U_P + T_P) \quad (29)$$

Na equação (29), o conhecimento do T_P em um sistema global permite calcular diretamente o C_P em um Sistema Vertical de Referência Global (SVRG). A determinação do potencial perturbador T_P é feita com a consideração da condição de contorno fundamental (DE FREITAS, 2015), equação (30), onde o distúrbio da gravidade deveria ser utilizado para solucionar PVCG e obtendo o potencial perturbador em pontos da SF:

$$\frac{\partial T}{\partial h} = \frac{\partial T}{\partial n} - \delta g \quad (30)$$

Esta condição pressupõe a derivada direcional na direção normal ou de crescimento da altitude. Em especificações atuais do *Global Geodetic Reference System* (GGRS) pela IAG (04/2016), considerou-se que é possível obter as discrepâncias entre o *Datum* Vertical Global (DVG) e o *Datum* Vertical Local (DVL)

em termos do geopotencial, pela diferença entre as equações (29) e (28), resultando na equação (31):

$$C_P - C_{Pi} = W_0 - W_{0i} = \delta W_i \approx (U_P + T_P) - \sum_{i=1}^k (g_m^{obs} \Delta H^{obs}) \quad (31)$$

A partir da equação (31) pode-se fazer a compatibilização do sistema local com o sistema global, onde vale ressaltar que T_P é fundamental para a realização do vínculo global.

A definição mais aceita do geoide na atualidade como referência a um IHRs é a de “Superfície equipotencial quase estática do campo da gravidade melhor ajustada, no sentido do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), globalmente ao NMM”. Esta é baseada na definição de Gauss e Listing (LISTING, 1873 *apud* HECK, 2004), como mostra a seguir na equação (32):

$$\int_S (W_0 - W_i)^2 ds = \min \quad (32)$$

Considera-se cada elemento ds da superfície S do oceano como tendo geopotencial W_i e o geoide global tendo geopotencial W_0 : Sendo a equação (32) resolvida de forma numérica, esta definição adquiriu grande atualidade em vista da Altimetria por Satélites sobre os oceanos através da qual foram desenvolvidos os denominados *Mean Ocean Dynamic Topography Models* (MDT) a partir de 1992, principalmente com a missão TOPEX/Poseidon (T/P).

Segundo Bursä et al. (2007) a missão do satélite altímetro T/P marcou uma nova era na determinação do W_0 . Baseado nos dados T/P durante o período de 1993-2003 (ciclos 11-414), estes autores vêm pesquisando as variações a longo prazo do W_0 . Atualmente o valor do W_0 adotado pela IAG é o obtido por Sánchez (2007) e Sánchez et al. (2016), sendo $W_0 = 62.636.853,4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$.

Ressalta-se que, desde o início do uso dos satélites artificiais, a determinação do geoide já passou por grandes melhorias, principalmente a partir dos dados das várias missões dedicadas à sua determinação, como por exemplo, as missões *CHAllenging Minisatellite Payload* (CHAMP), *Gravity Recovery And Climate*

Experiment (GRACE) e *Gravity Field and Steady – State Ocean Circulation Explorer* (GOCE).

2.3 UNITED NATIONS GLOBAL GEOSPATIAL INFORMATION MANAGEMENT

A *United Nations Global Geospatial Information Management* (UN-GGIM) em uma Assembleia Geral adotou a resolução do *Global Geodetic Reference Frame* (GGRF) visando um desenvolvimento sustentável. A resolução é (A/RES/69/266) publicada em 26 de Fevereiro de 2015 reconhece a importância da abordagem da Geodésia pela IAG. O principal objetivo foi a descrição dos elementos chaves do GGRF como realização do GGRS. Estas diretrizes estão desde setembro de 2016 consolidadas pela IAG (IAG, 2016d).

2.3.1 GGRS e GGRF

O GGRF como realização do GGRS é essencial para determinação adequada das mudanças globais, para gerenciar e mitigar os efeitos de desastres naturais, assim como, para monitorar as mudanças do nível do mar e mudanças climáticas. Outro aspecto importante está relacionado ao fornecimento de informações acuradas para os tomadores de decisões.

O conhecimento acerca dos fluxos de massas no Sistema Terra e das observáveis do campo da gravidade são requisitos da globalização e interoperabilidade, que atualmente exige uma demanda crescente em relação aos termos de infraestrutura de dados espaciais consistentes. Para atender essa demanda, a IAG estabeleceu o GGOS para ser o componente que integra as distintas contribuições da Geodésia, as quais permitem quantificar as mudanças globais no espaço e no tempo com acurácia e confiabilidade.

Dentre as mudanças globais destaca-se o monitoramento do NMM, o conhecimento da evolução temporal do NMM exige a determinação da posição geocêntrica do *Datum* de forma a permitir a separação de movimentos eustáticos dos movimentos da crosta. Cada qual destes movimentos têm velocidades distintas que não podem ser discriminadas simplesmente pela análise dos registros de marégrafos.

Os movimentos eustáticos são efeitos ocasionados predominantemente pelas variações de baixas frequências ou efeitos seculares que podem se estender para períodos além de 10 anos e são causados, em parte, por fenômenos físicos predominantes na distribuição dos efeitos geostróficos decorrentes de ventos, ondas, ressonâncias costeiras além de efeitos estéricos associados às variações da densidade da água do mar. Já, os movimentos verticais da crosta, tais como os ajustes isostáticos glaciais são aproximadamente lineares, e em geral, não afetam as taxas de variação do NMM (DOUGLAS, 1992). Enquanto que, os movimentos tectônicos verticais não lineares e de curto prazo e fenômenos como os terremotos, podem afetar os registros e produzir acelerações na variação do nível do mar em regiões delimitadas. Nas últimas décadas, os movimentos eustáticos têm sido estimados a partir de observações associadas ao vínculo do sensor do marégrafo a uma estação GNSS nas proximidades do marégrafo via nivelamento geométrico. Atualmente estes movimentos vêm sendo estudados com o auxílio de dados provenientes de satélites altímetros.

Cazenave (1999), tendo por base observações maregráficas estimou que o NMM global variasse aproximadamente $1,9 \text{ mm/ano} \pm 0,1 \text{ mm/ano}$. As primeiras análises realizadas com dados da altimetria por satélites, onde não há influência dos possíveis movimentos da crosta, principalmente das missões T/P, ERS-1 e 2, indicaram uma variação de aproximadamente $2,99 \text{ mm/ano} \pm 0,1 \text{ mm/ano}$ para o período de 1993-2003 (CAZENAVE et al., 2003; HOLGATE e WOODWORTH, 2004; WOODWORTH, 2004). Observações recentes da altimetria por satélites sugerem uma aceleração na elevação do NMM. O NOAA (2016), que considerou uma série mais extensa das missões TOPEX, JASON-1 e JASON-2 para o período de 1992,96 a 2016,27, obteve uma variação de aproximadamente $2,9 \text{ mm/ano} \pm 0,4 \text{ mm/ano}$. Outra determinação, considerando o período de 1993,01 a 2015,97, com a utilização dos dados das missões TOPEX, JASON-1 e JASON-2 obteve uma variação de aproximadamente $3,36 \text{ mm/ano} \pm 0,1 \text{ mm/ano}$, também indica aceleração em épocas recentes (AVISO, 2016).

O contínuo desenvolvimento das instrumentações geodésicas tem sofrido um impacto positivo, principalmente em decorrência do uso de plataformas orbitais que possibilitam o posicionamento geocêntrico, gravimetria e altimetria com características de cobertura espaço-temporal adequadas aos controles das

interfaces oceano-continente, não propiciadas por métodos convencionais de levantamentos terrestres e marinhos. Vislumbra-se a potencialidade do GGRF com a facilidade de integração de diferentes observações geométricas e gravimétricas, adicionalmente, o referenciamento espacial das informações e análise de evolução temporal de níveis de referência e do transporte de massas, no fornecimento de produtos e serviços confiáveis de alta qualidade.

Uma das maiores conquistas recentes da Geodésia foi o desenvolvimento de novos MGGs em harmônicos esféricos com base em novas missões espaciais. Principalmente, os MGGs com menores erros de comissão em comprimentos de ondas mais longos, os quais são derivados de missões de gravimetria e altimetria por satélites. Estes têm grande consistência espacial e inclusive com resolução temporal. Esses modelos podem formar bases de referência global para o já referido IHRS, assim como para o *International Height Reference Frame* (IHRF), como pressuposto pelo GGOS.

Em uma visão moderna, busca-se um IHRS único em todo o globo (IHDE et al., 2007) e, em vista disto, muitos aspectos devem ser discutidos relativamente aos DVs ora existentes, e particularmente no Brasil, em vista dos esforços para a modernização da RVFB descritos em LUZ (2008). Ihde et al. (2015) destacam os pontos importantes em relação à convenção para a definição do IHRS, esses pontos também são ressaltados em Sánchez (2012) e IAG (2015), e aqui apresentados:

1. A referência de nível vertical é uma superfície equipotencial do campo da gravidade com o valor do geopotencial W_0 . O DV define o relacionamento das altitudes físicas ao corpo da Terra. O W_0 , até então convencional e obtido do esferopotencial U_0 de modelos normais do campo da gravidade, tende a ser substituído por uma determinação absoluta a partir da altimetria por satélites e solução do PVCG, ou por valor já estabelecido (BURSĂ et al., 2007; IHDE, 2010; SÁNCHEZ et al., 2016). Como já mencionado no subitem 2.2, o $W_0 = 62.636.853,4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$. Segundo Sideris et al. (2014), esse é obtido como realização do valor do potencial do nível de referência vertical para o IHRS.
2. Os parâmetros, as observações e os dados devem estar relacionados com o sistema de maré média e crosta média.
3. Ser realizado (materializado) por altitudes físicas (derivadas do nivelamento geodésico em combinação com reduções dos efeitos do campo da gravidade).

4. As unidades de medidas utilizadas são definidas pelo Sistema Internacional (SI), o metro para o comprimento e o segundo para o tempo;
5. As coordenadas verticais são as diferenças do potencial $-\Delta W_P$ entre o potencial W_P em um ponto P no campo da gravidade da Terra, e o valor do potencial no geóide W_0 ; na equação (33) apresenta-se a diferença do potencial $-\Delta W_P$ designado como um número geopotencial;

$$-\Delta W_P = C_P = W_0 - W_P \quad (33)$$

6. Está associado a uma época específica de referência, considerando-se a transformação de coordenadas verticais e seu nível de referência através do tempo, ou seja, a geometria e a gravidade são funções implícitas do tempo.
7. Para um ponto P físico o potencial $W_P = W(\vec{X})$ é avaliado como coordenadas \vec{X} no ITRS.

A superfície do NMM é dinâmica, seu valor médio depende do período de avaliação, e apresenta uma $TNMM$ que pode atingir $\pm 2\text{m}$ em relação ao denominado geóide global (FU e CAZENAVE, 2001). Segundo Gerlach e Rummel (2013), isto afeta direta e indiretamente as redes altimétricas com DVs definidos na forma clássica bem como geóides gravimétricos locais, dependentes de anomalias da gravidade calculadas em sistemas locais.

Em vista dos aspectos referidos nos parágrafos precedentes, um DV moderno deve ter sua relação espaço-temporal com um ITRS, estabelecendo para isto a fixação da sua posição geocêntrica, solução do PVCG e modelagem de sua evolução temporal. Diante de toda a discussão apresentada anteriormente, no Quadro 1 resume-se a relação dos Sistemas Verticais Fundamentais em uma visão clássica versus uma visão moderna.

A integração de técnicas tais como altimetria por satélites e dados de marégrafos são empregadas no monitoramento das variações e da evolução do NMM em associação com posicionamento preferencialmente contínuo, como o GNSS.

QUADRO 1 - DATUM E SISTEMA DE ALTITUDES EM UMA VISÃO CLÁSSICA E MODERNA

	CLÁSSICO	MODERNO
Datum	NMM observado entre duas épocas, preconizado que, idealmente maior ou igual a 18 anos. Nível de referência $H=0$ m ou nível de referência nacional para países não oceânicos	Geopotencial de referência W_i , do qual se conhece sua relação com um geopotencial de referência global W_0 vinculado a um IHRs.
Sistema de Altitudes	Altitudes Niveladas associadas com correções teóricas ou reais do campo da gravidade, às vezes sem nenhuma correção aplicada.	-Mapa geoidal/ GNSS (nivelamento) - Nivelamento associado à gravimetria formando sistema de altitude física baseada em números geopotenciais.

FONTE: Da Silva et al. (2016)

2.4 RELAÇÃO ENTRE O IHRs E O PVCG

Existe uma relação direta entre o conceito de altitude e o PVCG, a qual deve ser analisada tanto do ponto de vista geométrico quanto físico conforme evidenciado na equação (31). Fica consolidado assim que, deve-se levar em conta a superfície eleita como origem para as medições altimétricas, além do seu significado como superfície de referência do campo de gravidade.

A formulação do PVCG pode ser entendida como a determinação de uma função harmônica no exterior de uma superfície de contorno, a partir de funcionais do campo de gravidade conhecidos na superfície de cálculo (anomalias de gravidade, distúrbios de gravidade, diferença de potencial, etc.), que a guisa de ilustração está contida na equação integral (34) (HEISKANEN e MORITZ, 1967b):

$$-2\pi T + \iint_S \left[T \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{l} \right) - \frac{1}{l} \frac{\partial T}{\partial n} \right] dS = 0 \quad (34)$$

A equação (34) é escrita para o potencial perturbador T ; onde l é a distância entre o ponto de cálculo e o ponto variável de integração; e n representa a direção normal à superfície S . Para mais detalhes ver: KELLOGG (1929); MORITZ (1965); HEISKANEN e MORITZ (1967b); PICK et al. (1973) e ROY (2008).

superfície física que contém o ponto P respectivamente; U_0 é o esferopotencial sobre o elipsoide adotado. Pode-se considerar que ($U_0 = W_0$), por definição $U_Q = W_P$ é o potencial normal no ponto Q sobre o teluroide; o ponto P e Q estão situados ao longo da normal e a distância PQ representa a anomalia de altitude.

Para a denominada solução fixada do PVCG é necessário determinar os distúrbios da gravidade na SF da Terra. Para tanto se devem considerar observações gravimétricas associadas com observações GNSS. Os distúrbios da gravidade δg permitem o cálculo direto dos números geopotenciais em um IHRS. O distúrbio da gravidade é definido como a diferença dos valores real e normal da gravidade em um mesmo ponto da SF. Este está associado com a condição de contorno fundamental para a solução do PVCG fixado na determinação de T_P a ser empregado na equação (31). A determinação de T_P , implícito na equação (34), é dada pela equação (37) que atua como condição de contorno referida nas seções precedentes e conforme Heck (1989), Heck (2011) e Sánchez (2012):

$$-\frac{\partial T_P}{\partial n} = \delta g_P \quad (37)$$

As características peculiares de realização de mais de 100 sistemas de altitudes no mundo gerou uma inconsistência entre eles (SIDERIS et al., 2011). Sendo assim, somente uma superfície equipotencial ou um valor de referência único do geopotencial permite formar um IHRS com base em um único geoide global – a superfície equipotencial melhor ajustada ao NMM global reduzido para uma época particular. Então, é necessária a ligação de cada DVL ao IHRS determinando suas discrepâncias relacionadas ao geoide global.

Um sistema de altitudes consistente e único deve possuir características físicas, ou seja, vinculado de forma unívoca ao campo de gravidade da Terra. As altitudes podem ser obtidas pela integração de valores de gravidade aos desníveis obtidos do nivelamento geométrico, conforme a equação (27), permitindo assim o cálculo de desníveis geopotenciais e a realização de diversos tipos de sistemas de altitudes físicas a partir da estratégia para determinação de G_M . A posição aparente do *Datum* deve ainda corresponder à da época de definição do *DV* por regressão, tanto do nível do mar como da posição da referência fundamental das altitudes (DALAZOANA, 2006). Para estabelecer uma Rede Vertical unificada e vinculada

com IHRF é necessária a coerência entre os distintos DVs ou que se conheça o afastamento de cada qual relativamente ao W_0 global. Mais detalhes em De Freitas (2007).

Um sistema de altitudes moderno deve permitir a determinação de altitudes em relação ao DV empregando-se as técnicas do GNSS, pois o mesmo dependendo da precisão exigida pode substituir as técnicas tradicionais de nivelamento. Mas, o GNSS fornece coordenadas geodésicas relacionadas ao elipsoide de referência. Para melhores resultados, devem-se considerar os pontos apresentados no subitem 2.3 em relação à materialização do IHRF como realização do IHRF.

2.5 MUDANÇAS GLOBAIS E POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO DV

Segundo Plag e Pearlman (2009), as observações do Sistema Terrestre são fundamentais para a compreensão científica da Terra, a prevenção e mitigação de desastres, a provisão adequada de recursos tais como energia, água e alimentos, a compreensão das mudanças climáticas, a proteção da biosfera, meio ambiente e saúde humana.

Com relação ao monitoramento da posição geocêntrica de um DV, estudos vêm sendo desenvolvidos ao longo do tempo, dentro estes, se pode citar Cordini (1998); De Freitas et al. (1998 e 1999); Dalazoana (2006); Miranda (2006); De Freitas et al. (2007b); Luz (2008); Ferreira (2008); Luz et al. (2009); Palmeiro (2011); Da Silva e De Freitas (2013); Da Silva e De Freitas, (2015); Da Silva et al. (2016) que abordaram questões relacionadas a utilização de rastreamento GPS próximo ao marégrafo para determinação da posição geocêntrica de um *Datum* no contexto do Projeto SIRGAS. Para atender as demandas globais Bosch et al. (2002) apresentaram o Projeto *Enterprise for Verification of Anomalies in Mean Sea Level by Satellite Altimetry and Tide Gauge Records in the North Atlantic* (EVAMARIA) com o objetivo de identificar e verificar as anomalias do NM. Os autores empregaram oito anos de dados do T/P para comparação com os dados maregráficos associados a GPS. Häfele et al. (2001) abordaram as questões relacionadas ao projeto EVAMARIA, adicionalmente com as séries temporais dos dados maregráficos e de GPS, para verificação do movimento da crosta e do NM.

Na atualidade foi estabelecido o GGOS que tem como pressuposto central a integração de base de dados e modelos associados com novas ferramentas da Geodésia, as quais permitem a quantificação das mudanças de nosso planeta no espaço e no tempo. Estes aspectos dizem respeito ao presente trabalho estruturado sobre os Temas 1 e 3 como já mencionado no subitem 1.1. O GGOS se constitui na base científica e na infraestrutura geodésica necessária ao acompanhamento do Sistema Terra além das mudanças globais, fornecendo observações com consistência entre as três áreas, ou também chamados de pilares fundamentais da Geodésia. Esses pilares são a geometria e cinemática da Terra (posicionamento), a rotação terrestre (orientação), o campo da gravidade e o campo gravitacional (Geopotencial). A Figura 4 mostra a integração dessas três áreas, tendo como ponto central as Redes Geodésicas de Referência. Atualmente estão em discussão, dentro da visão de estruturação do GGOS, os preceitos do GGRF como a realização do GGRS. Essa discussão vem tornando-se cada vez mais intensa devido à necessidade de atender as demandas globais.

FIGURA 4 - PILARES DA GEODÉSIA INTEGRADOS A ESTRUTURA DE REFERÊNCIA



FONTE: Adaptado de Plag e Pearlman (2009) e Sideris (2009)

Em uma visão atual a localização de um ponto na SF é definida pela sua posição em referencial geocêntrico para uma dada época. Isto implica que se deve levar em consideração a época de observação; a época de definição dos SGRs e as variações temporais das coordenadas para suas reduções à época de realização do SGR. O desconhecimento de um desses aspectos implica em problemas associados

à combinação de técnicas de observação que estão geralmente em épocas e SGRs diferentes (DREWES e SÁNCHEZ, 2004).

Os aspectos dinâmicos tais como o efeito indireto das marés e correntes oceânicas, efeitos geostróficos e tectônicos, e os aspectos físicos, como por exemplo: as massas topográficas e batimetria, produzem anomalias na superfície de referência utilizada, quer no espaço, quer no tempo (DE FREITAS et al., 2002a). A evolução do NMM decorre de dois fenômenos distintos: o movimento eustático do NMM relativo ao geocentro que é, em grande parte, associado à expansão térmica dos oceanos (desequilíbrio estérico); e movimentos tectônicos da crosta ao longo da linha de costa, principalmente os verticais de soerguimento (deformação das placas) ou subsidência crustal (DA SILVA e DE FREITAS, 2013).

O NMM em um determinado local apresenta desvios em relação à média global, em função dos ventos, correntes oceânicas, entre outros fatores. A variação espacial do NMM constitui dificuldade para comparação entre as altitudes referidas aos *Data* verticais. É necessário também considerar os movimentos relativos devido ao carregamento periódico diferencial dos efeitos da maré sobre a crosta (FARREL, 1972). A flexão diferencial da crosta provocada pela interação entre as marés terrestres e oceânicas e variações de pressão atmosférica (DE FREITAS, 1993), podem produzir efeitos no posicionamento relativo sobre linhas de bases longas (VANDAM et al., 1994; DE FREITAS et al., 1995).

Com um longo período de observações da maré oceânica e a fixação da posição geocêntrica do marégrafo, definida em certa época, pode-se realizar a determinação dos efeitos seculares por comparação com níveis de referência históricos e com a associação de modelos de velocidade da crosta e de evolução do NMM. Estes procedimentos permitem a discriminação entre movimentos epirogênicos e crustais, e entre movimentos eustáticos e variações do NMM. Para estes propósitos é em geral, exigido o estabelecimento de projetos de grande complexidade para a manutenção da referência altimétrica para uma Rede Vertical Fundamental (RVF) (DE FREITAS et al., 2002a).

O GNSS pode ser útil no posicionamento vertical desde que as altitudes geométricas sejam adequadamente convertidas em altitudes físicas (DE FREITAS e LUZ, 1995). Segundo Dalazoana (2006), o posicionamento GNSS de uma RN, associada com nivelamento geométrico permite ligar a referência zero de um marégrafo a um SGR geocêntrico. O referenciamento geocêntrico das variações

loais da posição de pontos da crosta pode ser usado para monitorar variações verticais da posição do marégrafo, sendo fundamental para evitar que movimentos verticais da crosta sejam interpretados como variações do NMM.

Em Imbituba, nas proximidades do marégrafo, foi materializada em 2007 a estação IMBT do SIRGAS-CON (SAT-91854 do banco de dados do IBGE). Esta estação foi estabelecida como sucessora da estação IMBI, onde foram realizadas campanhas por posicionamento GPS. Estas duas estações foram conectadas por 17 dias de observações GPS, adicionalmente por métodos topográficos e de nivelamento de travessia. A partir destas estações e da conexão com o marégrafo podem-se discriminar movimentos verticais locais e do NMM em relação ao centro de massa da Terra. Para controle da posição geocêntrica e vínculo do marégrafo com a estação GPS são necessários seguir alguns procedimentos primordiais, como:

- Verificação dos marégrafos (analógico (boia) e digital);
- Rastreio GNSS contínuo na estação IMBT usada para materializar a posição geocêntrica do marégrafo;
- Nivelamento geométrico das Referências de Nível (RNs) (régua maregráfica e marégrafo) localizadas na área do porto. A Figura 5 mostra como é realizado o controle vertical das RNs.

FIGURA 5 - CONTROLE VERTICAL DAS RNs EM IMBITUBA



FONTE: A autora (2013)*

(*) A autora tomou as fotos acima, quando participou de uma campanha do Teste de Van Castele (27/04/2013 a 02/05/2013) em Imbituba.

A Figura 6 ilustra como é realizado o controle geodésico do marégrafo, a partir de nivelamento geométrico e de rastreamento GPS na estação IMBI.

FIGURA 6 - CONTROLE GEODÉSICO DO MARÉGRAFO



FONTE: A autora (2013)^{*}

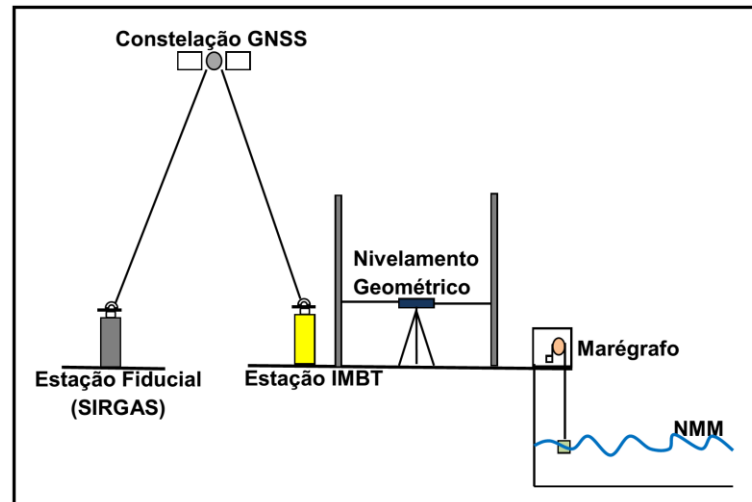
(^{*}) A autora tomou as fotos acima, quando participou de uma campanha do Teste de Van Castele (27/04/2013 a 02/05/2013).

O posicionamento GNSS da estação IMBT localizada nas proximidades do marégrafo e o seu vínculo com a referência zero do marégrafo via nivelamento geométrico com precisão estimada de $0,5 \text{ mm}\sqrt{k}$, sendo k a média da distância nivelada/contra nivelada (km) (IBGE, 2016a), permitiu relacionar as observações maregráficas a um referencial geocêntrico. Assim, com a adoção destes procedimentos é possível separar as variações do NMM da posição do marégrafo ocasionadas pelas variações verticais, tal como o exemplo apresentado para o DVB-I, na Figura 7.

A Figura 7 mostra como pode ser realizada a determinação da posição geocêntrica do marégrafo tal como possibilitado por posicionamento diferencial GNSS (BEUTLER, 1992). Estudos indicam que as imperfeições dos modelos de correção dos efeitos diferenciais das marés gravimétricas, contidos nos *softwares* para processamento das observações GPS diferenciais sobre bases longas, impedem a determinação da posição geocêntrica e conexão de marégrafos com curtos períodos de observação, sendo então recomendados períodos de observação mínima de cerca de 10 dias sobre bases continentais (LUZ et al., 2009). Vale ressaltar que as marés gravimétricas resultam das componentes verticais da maré terrestre, oriunda da interação gravitacional da Terra principalmente com a Lua e o

Sol, produzindo deformações no interior ou nas partes mais superficiais do planeta. Mais detalhes podem ser vistos em De Freitas (1993) e De Freitas e Cordini (1998).

FIGURA 7 - MONITORAMENTO DA POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA VIA OBSERVAÇÕES COM GNSS E NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.



FONTE: Adaptado de Dalazoana et al. (2005a) *apud Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC, 2002)

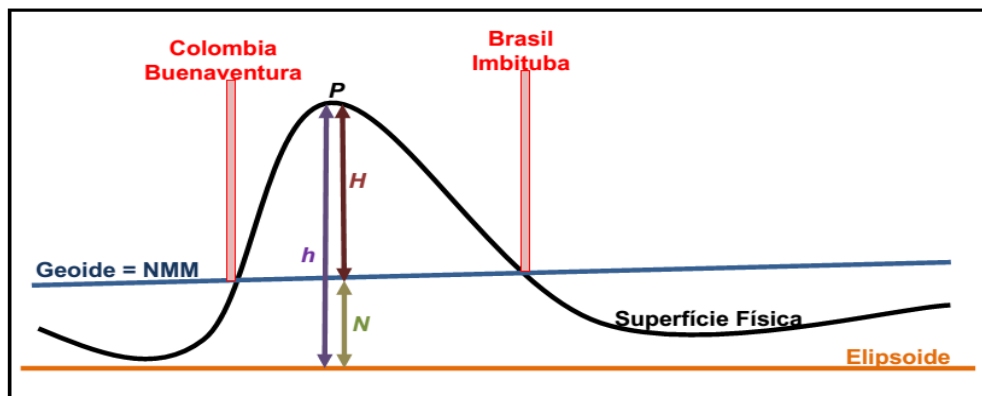
2.6 ASPECTOS CLÁSSICOS E ATUAIS ASSOCIADOS NA DEFINIÇÃO DE UM DATUM VERTICAL

Geralmente, existem várias RNs próximas à região do marégrafo para que, caso ocorra eventualmente a destruição de alguma não haja perda de informações. Segundo Pugh (1987), o *Datum* precisa estar conectado no mínimo a três marcos auxiliares para permitir a recuperação do *Datum* original e analisar os movimentos da crosta próximos a RN principal do marégrafo. A partir do estabelecimento do *Datum* e sua conexão a uma ou mais RNs na região do marégrafo, pode-se determinar as altitudes das demais estações que materializam a rede geodésica vertical.

Na América do Sul, a maior parte dos DVs foi definida a partir de observações do nível do mar em períodos de tempo distintos. As redes verticais foram estabelecidas considerando que o NMM coincide com o geoide, neste caso com o geoide local, como mostra a Figura 8, onde se observa que h é a altitude elipsoidal do ponto P , H é a altitude ortométrica desse mesmo ponto e N é a altitude geoidal.

Em particular, no DVB-I se utilizou o mínimo recomendado de 9 anos de observações referentes ao NMM entre as décadas de 40 e 50 (ALENCAR, 1968). Assim como na grande maioria das realizações dos DVs dos outros países, na realização do DVB-I, não se considerou a *TNMM*, isto devido ao fato de considerar que o NMM na forma clássica é coincidente com o geoide. Este tipo de desconsideração introduz dificuldades para o estabelecimento de redes geodésicas e integração de redes nacionais em estruturas continentais, porém era a única forma de realização possível na época. Pormenores desta consideração podem ser vistos em: Hernández et al. (2002) e De Freitas et al. (2002a).

FIGURA 8 - DEFINIÇÃO DOS DATA VERTICAIS CLÁSSICOS



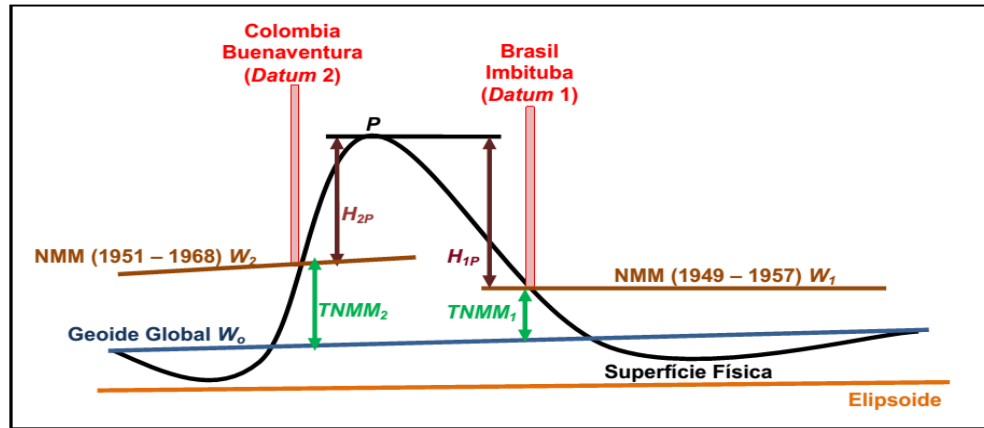
FONTE: Adaptado de IBGE (1997a)

Na atualidade, passou a ser uma preocupação prioritária da comunidade geodésica os efeitos indiretos da *TNMM* no DV e, por conseguinte em toda a rede a ele vinculada, principalmente no cálculo de anomalias da gravidade e em outras aplicações que exijam reduções gravimétricas dependentes das altitudes (GATTI et al., 2012).

Como cada DV apresenta uma discrepância relativa a uma superfície equipotencial global, o uso do NMM como superfície de referência para as altitudes já não pode ser mais aceito, pois o seu W_{0i} é ajustado ao NMM em dada época no passado, mas não coincide com o W_0 devido a *TNMM* que é distinta em cada marégrafo. Na Figura 9 apresentam-se os maiores problemas relacionados com a conexão de redes verticais evidenciando que cada DV é referido a uma superfície equipotencial particular (potencial W_{0i}) associada ao NMM no marégrafo em uma

determinada época, o qual geralmente não coincide com o geóide global e nem com o NMM atual.

FIGURA 9 - PROBLEMAS RELACIONADOS COM A CONEXÃO DE REDES VERTICAIS



FONTE: Adaptado de IBGE (1997a)

Com a análise da Figura 9 observa-se que se trata da abordagem do sistema moderno, onde o ponto P possui uma altitude nivelada (H_{1P}) com relação ao DV_1 (potencial W_1) e uma altitude nivelada (H_{2P}) com relação ao DV_2 (potencial W_2). A discrepância que há entre o NMM e o W_0 é a $TNMM$.

2.7 GEOIDE GLOBAL E A $TNMM$

Atualmente, a suposição que o NMM é coincidente com o geóide adotado na definição na maioria dos DVs não atende a precisão exigida pela Geodésia (LUZ et al., 2009). O seu conhecimento ao longo das linhas de costa, visto como associado ao Tema 3 do GGOS, pode contribuir para a unificação de sistemas de altitudes, usualmente com pontos de origem inconsistentes (BOSCH, 2002).

A $TNMM$ é causada pela ação de uma série de fenômenos físicos, sendo também variável no tempo e por isto, é muitas vezes denominada de Topografia Dinâmica Média (MDT ou ainda SSTop). Sua estimativa é importante para a realização da conexão entre distintas redes verticais e distintos marégrafos (DE FREITAS et al., 2002a). Sua evolução com o tempo e sua determinação em áreas costeiras é complexa e estão vinculadas à solução do denominado PVCG no DV com diversas abordagens possíveis conforme apontado por De Freitas et al. (2007b) e não pode ser obtida diretamente dos MDTs globais (DA SILVA et al., 2016), em

vista da perda de resolução dos dados de altimetria em áreas costeiras (DALAZOANA, 2006).

O projeto COASTALT (*Project on "Development of Radar Altimetry Data Processing in the Coastal Zone"*) é voltado para o desenvolvimento de processamento de dados em altimetria por satélites em áreas costeiras, mais detalhes podem ser vistos em COASTALT (2016). Adicionalmente, apresentam vários trabalhos que buscam mostrar as melhorias que o processamento destes dados em áreas costeiras vêm adquirindo. Scharroo et al. (2016) mostraram em sua pesquisa, com o uso da técnica (Atraso Doppler - *Delay Doppler*, também conhecido como Radar de Abertura Sintética - SAR), que os dados dos altímetros mais próximo da costa já têm uma resolução espacial mais elevada, e uma precisão maior.

Segundo De Freitas et al. (2002b), as *TNMMs* eram, em geral, desconhecidas nos DVs adotados nos países da América do Sul. Para a conexão de diferentes redes verticais é necessário a consideração da *TNMM*, além das incertezas associadas aos erros inerentes à operação de nivelamento e aos fatores de ordem física ao longo das redes. Atualmente, para o estabelecimento da conexão entre o sistema de altitudes local e o geóide global é necessário considerar-se a *TNMM*.

A *TNMM*, em escala global, pode ser calculada como uma diferença, conhecendo-se a altitude elipsoidal do NMM (h_{NMM}) e a altitude geoidal dada por um MGG (N_{MGG}), como pode ser visto na equação (38) e na Figura 10. Isto, no entanto, é uma simplificação que não se coaduna com a visão atual da Geodésia, tal como previsto pelas especificações do GGOS. É necessário considerar efeitos físicos adicionais na região do DV além de considerar aspectos da interação oceano-continente e efeitos geodinâmicos (DE FREITAS et al., 2007b).

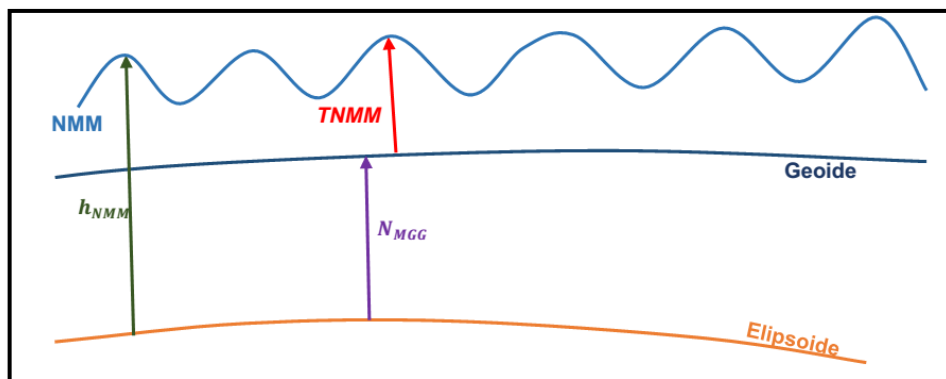
$$TNMM = h_{NMM} - N_{MGG} \quad (38)$$

Segundo Bosch (2002, p. 226), deve-se considerar no mínimo os seguintes aspectos para aprimoramento da equação (38), para determinação da *TNMM*:

- A h_{NMM} e N_{MGG} devem ter a mesma resolução, ou similar;

- A N_{MGG} devem ser dadas no sistema de marés consistente com o usado para o cálculo das h_{NMM} ;
- Os sistemas de referência usados para a altimetria por satélites e para os MGGs, usualmente, não são os mesmos. Então, há a necessidade de um sistema de referência comum.

FIGURA 10 - ESTIMATIVA DA $TNMM$ DO PONTO DE VISTA GEOMÉTRICO



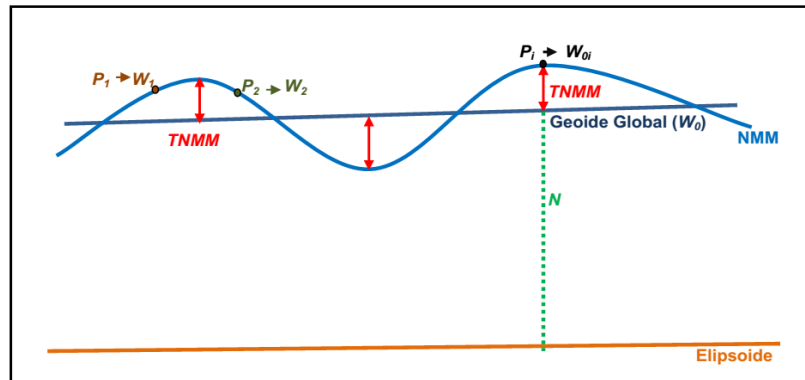
Alguns trabalhos no Brasil realizaram a estimativa da $TNMM$, com base no ajuste de uma superfície equipotencial local ao *Earth Gravitational Model 1996* (EGM96). Mais detalhes podem ser vistos em Ferreira (2008) e De Freitas et al. (2010). Em relação aos detalhes do desenvolvimento do EGM96 ver Lemoine et al. (1998). Relativamente à solução do PVCG no DVB-I algumas soluções alternativas são mostradas por Palmeiro et al. (2013). As abordagens referidas são parcialmente retomadas na sequência. Nestes trabalhos houve a adoção de um geoide global derivado de um modelo geopotencial inclusive existindo a necessidade de determinação de efeitos locais e fusão de dados.

A estimativa da $TNMM$ é realizada tendo como valor de referência o W_0 fundamental e buscando determinar a diferença do geopotencial ΔW , ou seja, a diferença de potencial entre o DVL de uma RVF e o IHRS. Geralmente essas diferenças estão associadas com os efeitos de anomalias locais de massas continentais e oceânicas, e não são resolvidas por modelos globais, influenciando na $TNMM$ que pode ser inferida da relação de Bursă et al. (2002), equação (39):

$$TNMM_i = \frac{\Delta W_i}{\gamma_i} \quad (39)$$

Na equação (39) γ_i é o valor da gravidade normal no elipsoide de referência para a latitude do ponto i e $\Delta W_i = W_0 - W_{0i}$, por exemplo, calculado para a posição do DVL, referido ao modelo elipsóidico relativamente ao qual é expressa a posição do geoide global. Estas relações estão apresentadas na Figura 11.

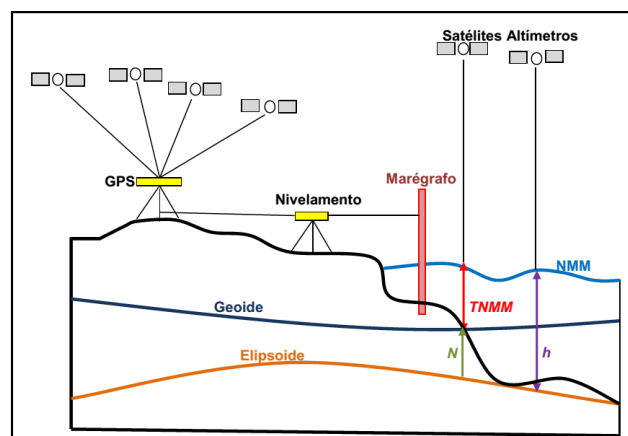
FIGURA 11 - ESTIMATIVA DA $TNMM$ COM ADOÇÃO DE UM GEOIDE GLOBAL



FONTE: Da Silva et al. (2016)

Na atualidade, a $TNMM$ é, em geral, derivada a partir de missões de altimetria por satélites, as quais permitem a determinação do nível do mar com relação a um elipsoide de referência, porém com acentuada perda de resolução em áreas costeiras. A Figura 12 mostra do ponto de vista geométrico, como a estimativa da $TNMM$ pode ser descrita a partir da altitude do NMM (referida ao elipsoide) e da altitude geoidal N , utilizando dados de altimetria por satélites, observações maregráficas e modelo geoidal.

FIGURA 12 - RELAÇÕES DA DETERMINAÇÃO DA $TNMM$ VIA ALTIMETRIA POR SATÉLITES E REGISTROS MAREGRÁFICOS



FONTE: Adaptado de Bosch et al. (2006)

Segundo De Freitas et al. (2007a), a relação da *TNMM*, obtida da altimetria por satélites em áreas oceânicas abertas (ou afastadas da linha de costa), com alguma superfície equipotencial em área costeira, pode ser obtida com sua extrapolação até a costa com base em um modelo que considere os efeitos geostroficos. Assim, é necessário o conhecimento de efeitos locais da dinâmica dos oceanos e de componentes anômalas do geopotencial, com comprimentos de onda menores que os contidos em MGGs desenvolvidos em harmônicos esféricos.

No Brasil, Dalazoana (2006) considerou os efeitos relativos entre a área amostrada, afastada da costa, com altimetria por satélites, e a superfície equipotencial definida por alguns marégrafos costeiros no Brasil. No referido estudo, obteve a correlação de séries temporais de dados maregráficos e a missão T/P para o período de 1992 a 2002. Desta forma, foi possível então, estimar a evolução temporal do NMM em áreas costeiras, para a região do DVB-I, com base no período onde existiam observações da altimetria por satélites T/P. Esta foi uma estratégia fundamental para modelar a evolução do NMM e ligar antigas séries temporais do nível mar com o novo marégrafo instalado em Imbituba no ano de 2001 e parte integrante da RMPG do IBGE.

2.8 VELOCIDADES E MOVIMENTO DAS PLACAS

As estruturas geodésicas atualmente possuem as três componentes definidoras da posição de um ponto no espaço, adicionalmente com a componente de definição temporal. O SIRGAS no Brasil é um exemplo, tendo como base o ITRF2000 (TEIXEIRA, 2005). As coordenadas SIRGAS podem ser utilizadas como injeção nos processamentos GNSS, mas antes se deve reduzi-las à época das observações dos satélites a partir dos modelos geofísicos ou geodésicos de movimentos das placas, (COSTA, 1999).

A utilização da técnica GNSS vem contribuindo com os estudos de fenômenos geofísicos e suas medições servem para determinar o movimento das placas tectônicas da Terra, e para estudar a deformação em torno de falhas ativas (HAHMED et al. (2010) e MOHAMED et al.(2016)). Adicionalmente, tem contribuído para avaliação dos efeitos geodinâmicos (CAPORALI et al. (2000); DIETRICH et al. (2000); XU et al. (2002)).

O ITRF é resultante da combinação de várias técnicas geodésicas espaciais: *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI), *Satellite Laser Ranging* (SLR), *Lunar Laser Ranging* (LLR), GNSS e *Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite* (DORIS), são produzidas soluções diárias, semanais e anuais (SIRGAS, 2016b). O ITRS é realizado periodicamente, devido à variação temporal das coordenadas das estações, em um determinado ITRF_{yyyy}, onde *yyyy* significa a época de referência da realização. O ITRF_{yyyy} consiste em um conjunto de coordenadas cartesianas e velocidades das estações, bem como a completa Matriz Variância-Covariância (MVC) destes parâmetros (BOUCHER e ALTAMIMI, 1996). A posição, na época *t* de um ponto na superfície sólida da Terra é dada pela equação (40):

$$\bar{P}(t) = \bar{P}(t_0) + \bar{V}(t_0) * (t - t_0) + \sum_i \bar{C}_i(t) \quad (40)$$

Na equação (40), $\bar{P}(t)$ e $\bar{P}(t_0)$ são os vetores de posição do ponto nas épocas *t* e *t*₀; $\bar{V}(t_0)$ é o vetor de velocidade do ponto na época *t*₀; $\sum_i \bar{C}_i(t)$ incorpora no modelo um conjunto de correções referidas à época *t*, tais como marés terrestres, carga oceânica e atmosférica, entre outras.

Para fazer a transformação entre as realizações dos ITRFs são gerados parâmetros de transformação a partir da transformação de *Helmert* ou similaridade com sete parâmetros ($T_1, T_2, T_3, D, R_1, R_2, R_3$) ou 14 parâmetros ($T_1, T_2, T_3, D, R_1, R_2, R_3, \dot{T}_1, \dot{T}_2, \dot{T}_3, \dot{D}, \dot{R}_1, \dot{R}_2, \dot{R}_3$). Ressalta-se que $\dot{T}_1, \dot{T}_2, \dot{T}_3, \dot{D}, \dot{R}_1, \dot{R}_2, \dot{R}_3$ são as primeiras derivadas de $T_1, T_2, T_3, D, R_1, R_2, R_3$ representando as respectivas variações temporais. T_1, T_2, T_3 são as translações entre as posições do centro de massa, R_1, R_2, R_3 são as rotações e $D = 1 + \delta$ é o fator de escala (ITRF, 2016).

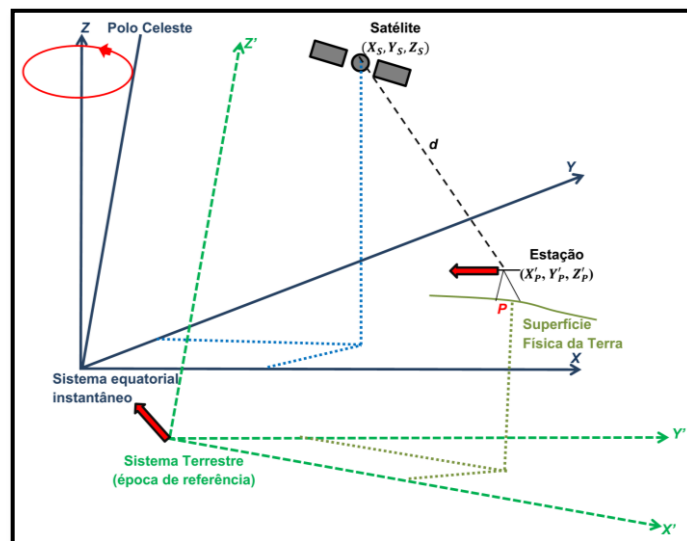
Segundo Costa (1999), a ideia básica de combinar resultados de várias técnicas diferentes é evitar erros sistemáticos oriundos de uma técnica específica, sendo a combinação a única maneira de se alcançar confiabilidade, juntamente com a precisão. Para Seeber (1993, p. 289), em uma visão geral, os erros são introduzidos em um processo de estimação de parâmetros, se a modelagem for razoavelmente simples e não se adequar devidamente à realidade física.

A aplicação das técnicas geodésicas espaciais exigem sistemas de referência consistentes para as coordenadas das estações terrestres e para as

efemérides dos satélites. Destaca-se que as efemérides utilizadas no presente trabalho são calculadas pelo *International GNSS Service* (IGS) e pelo *Center for Orbit Determination in Europe* (CODE), as quais podem ser devidamente compatibilizadas com as realizações ITRF/IGS. A Figura 13 apresenta como é realizada a aplicação das técnicas geodésicas espaciais, bem como a relação que há entre o sistema satelital e o sistema terrestre.

A incorporação das técnicas espaciais de observação em Geodésia implica na consideração dos aspectos cinemáticos aos quais estão submetidos os SGRs, considerando que as órbitas estão na época de observação, as coordenadas estão em uma época de definição do referencial, e existem diferenças nas velocidades das placas na parte estável e nas áreas de deformação, entre outros efeitos (DREWES e SANCHEZ, 2004).

FIGURA 13 - RELAÇÃO ENTRE O SISTEMA TERRESTRE E O SISTEMA SATELITAL:
PROCESSAMENTO GNSS



FONTE: Adaptado de Drewes e Sánchez (2015)

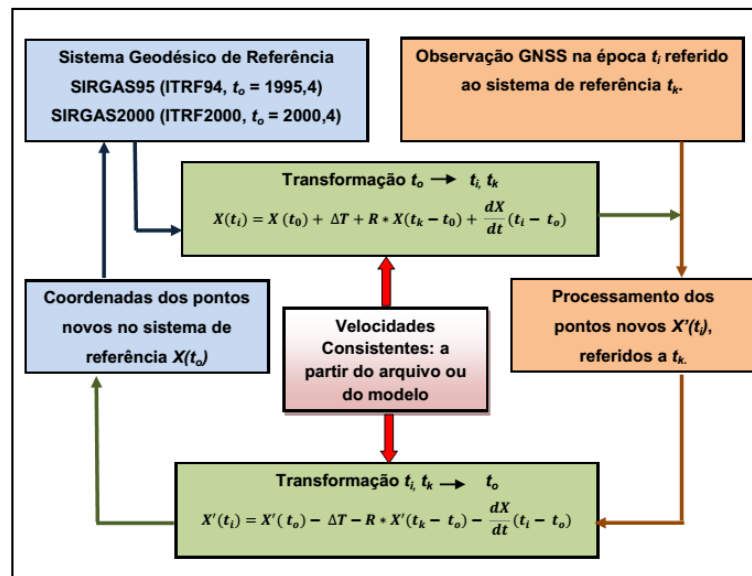
A Figura 13 mostra que as coordenadas “originais” do satélite estão em um referencial celeste e as das estações estão em um sistema referencial terrestre. Para que se possa determinar as coordenadas da estação e as do satélite, estas são transformadas do referencial celeste para o terrestre, considerando os efeitos da rotação terrestre. A distância entre satélite-receptor é dada pela equação (41):

$$d \neq \sqrt{(X_s - X'_p)^2 + (Y_s - Y'_p)^2 + (Z_s - Z'_p)^2} \quad (41)$$

Ainda da Figura 13, vale ressaltar que para o processamento GNSS as coordenadas dos pontos terrestres e dos satélites têm que estar em um mesmo sistema de referência. As coordenadas dos satélites se dão no ITRF em uma época atual, assim como, as coordenadas dos pontos terrestres se dão em um sistema de referência associado à época de definição. Para se obter o mesmo sistema deve-se transformar as coordenadas dos pontos utilizados como estações de referências, da época de definição até a época atual de medição. A transformação inclui: mudança do ITRF e velocidades das estações.

Com base nas velocidades das estações é possível atualizar as coordenadas de uma estação, da época de referência para qualquer outra, ou conhecendo-se a época de observação, pode-se determinar as coordenadas para a época de referência. Para uma melhor estimativa da velocidade, o intervalo de tempo mínimo com dados disponíveis da série temporal GNSS deve ser aproximadamente 5 anos (IBGE, 1997b), permitindo discriminar movimentos episódicos dos seculares. A Figura 14 mostra como é realizada a atualização das coordenadas das estações a partir das velocidades.

FIGURA 14 - TRANSFORMAÇÕES DAS COORDENADAS NO SISTEMA TERRESTRE



FONTE: Adaptado de Drewes e Sánchez (2015) e SIRGAS (2016c)

Na Figura 14 observa-se que inicialmente precisa-se definir o sistema de referência, para realizar a transformação da época de realização para época atual, sendo necessárias medições GNSS na época atual. No processo de transformação

das observações é necessário arquivo das coordenadas $X(t_o)$ na época de realização dos pontos de referências, realizando-se o cálculo das coordenadas das novas estações observadas $X'(t_i)$, referida ao mesmo sistema de referência que as coordenadas $X(t_o)$. Para realizar a transformação inversa, é necessário obter as coordenadas na época atual e tendo o sistema de referência determinado, obtêm-se as coordenadas na época inicial.

Vale ressaltar alguns detalhes em relação ao processo de transformação:

- Diferenças entre as diversas realizações do ITRF a partir dos parâmetros de transformação de *Helmert* (7 ou 14).
- As coordenadas das estações na época de definição do SGR podem ser levadas para a época de observação com as velocidades conhecidas, como mostra a equação (42), (DREWES, 2004):

$$\begin{aligned} X_{t_i} &= X_{t_0} + V_X(t_i - t_0) \\ Y_{t_i} &= Y_{t_0} + V_Y(t_i - t_0) \\ Z_{t_i} &= Z_{t_0} + V_Z(t_i - t_0) \end{aligned} \quad (42)$$

Na equação (42), $X_{t_i}, Y_{t_i}, Z_{t_i}$ são as coordenadas na época de observação; $X_{t_0}, Y_{t_0}, Z_{t_0}$ são as coordenadas na época de definição do SGR; V_X, V_Y, V_Z são as componentes de velocidade do ponto; $(t_i - t_0)$ é a diferença do tempo da época de observação em relação à época de definição do referencial. Nesta situação V_X, V_Y, V_Z são obtidas das soluções de coordenadas em relação ao tempo e velocidades, como por exemplo, ITRF2000.

- As coordenadas das estações devem ser reduzidas até o ITRFyyyy, as velocidades das estações novas são desconhecidas, equação (43), sendo necessário interpolar a partir de alguma modelo de velocidade, (DREWES, 2004):

$$\begin{aligned} X_{t_0} &= X_{t_i} - V_X(t_i - t_0) \\ Y_{t_0} &= Y_{t_i} - V_Y(t_i - t_0) \\ Z_{t_0} &= Z_{t_i} - V_Z(t_i - t_0) \end{aligned} \quad (43)$$

Um método para interpolação das velocidades horizontais se apresenta no Modelo de Velocidade do SIRGAS (em inglês *VElocity MOdel of Sirgas* (VEMOS)). Vale destacar que a partir do VEMOS2009 (DREWES e HEIDBACH, 2009; 2012) não se obtém as velocidades verticais, pois não podem ser interpoladas com modelos regionais, devido às deformações locais, movimentos tectônicos, efeitos hidrológicos, glaciais e meteorológicos. Com a atualização deste modelo para VEMOS2015 (SÁNCHEZ e DREWES, 2016a; 2016b) foi possível à obtenção das velocidades verticais, pois o cálculo é a partir de medições GNSS.

As coordenadas quando são calculadas automaticamente, por exemplo, com o software *Bernese Processing Engine* (BPE), não se evidencia erros grosseiros e nem influências globais, havendo a necessidade de serem produzidas cuidadosamente. Destaca-se que o uso de efemérides precisas, código e fase, modelos de troposfera e ionosfera, correções de carga oceânica e atmosférica são alguns dos cuidados que devem ser tomados com o processamento BPE, assim como no processamento semiautomático.

Diante do que foi apresentado anteriormente em relação à transformação, o cálculo da velocidade de cada estação pode ser realizado a partir de séries temporais com soluções semanais de uma rede. Com estas, observa-se a mudança gradual das coordenadas com o decorrer do tempo. Sendo assim, é possível detectar efeitos físicos ou estruturais da estação, avaliar os efeitos geodinâmicos locais ou regionais e determinar a velocidade das estações (SILVA et al., 2010). A partir dessas observações, as velocidades das estações são determinadas de forma muito precisa, permitindo a elaboração de modelos cinemáticos de movimento de placas, livres de qualquer suposição geológica (DREWES e SÁNCHEZ, 2013).

Ressalta-se que é importante o conhecimento do comportamento cinemático das estações, para sua aplicação e realização no tempo. Entretanto, para as áreas sujeitas à deformação na placa da América do Sul (SOAM), os modelos geofísicos não explicam os efeitos cinemáticos e os modelos geodésicos podem apenas estimar a velocidade horizontal, o que é insuficiente em alguns casos, como na incorporação de estações novas e na manutenção da consistência e integridade do SGR no tempo (BÁEZ SOTO et al., 2004). As estações quando localizadas próximo ao encontro entre duas placas litosféricas, apresentam um comportamento temporal mais irregular do que em relação às estações sobre partes estáveis das mesmas, como, por exemplo, as estações brasileiras.

Segundo BLITZKOW e MATOS (2002) e DREWES (2004), as coordenadas das estações vinculam-se a um sistema de referência bem definido, e mesmo sabendo que tais estações se movem com o passar do tempo, as suas coordenadas numa dada época são fixas. A adoção e a realização do SIRGAS2000 em cada um dos países requerem o conhecimento do campo de velocidades das estações e a definição de uma época de referência. Esta adoção é empregada para manter a consistência do SGR na utilização das coordenadas (DREWES e MEISEL, 2003). Neste sentido, o SIRGAS recomenda o uso do VEMOS para o cálculo das velocidades de pontos na América do Sul e Caribe ((DREWES e HEIDBACH, 2009; 2012) e (SÁNCHEZ e DREWES, 2016a; 2016b)) como modelo para obter velocidade horizontal da parte estável da placa SOAM. Mas em áreas com intensa atividade tectônica, o modelo tem limitações.

A Figura 15 mostra uma imagem da América do Sul e Caribe, com o campo de velocidades dado pelo modelo VEMOS2015 referido ao ITRF2008 (SÁNCHEZ e DREWES, 2016b). Este foi calculado a partir de medições GNSS registradas depois dos terremotos ocorridos no Chile e México em 2010 (SIRGAS, 2016d). Mais detalhes podem ser vistos também em (SÁNCHEZ e DREWES, 2016a; 2016b).

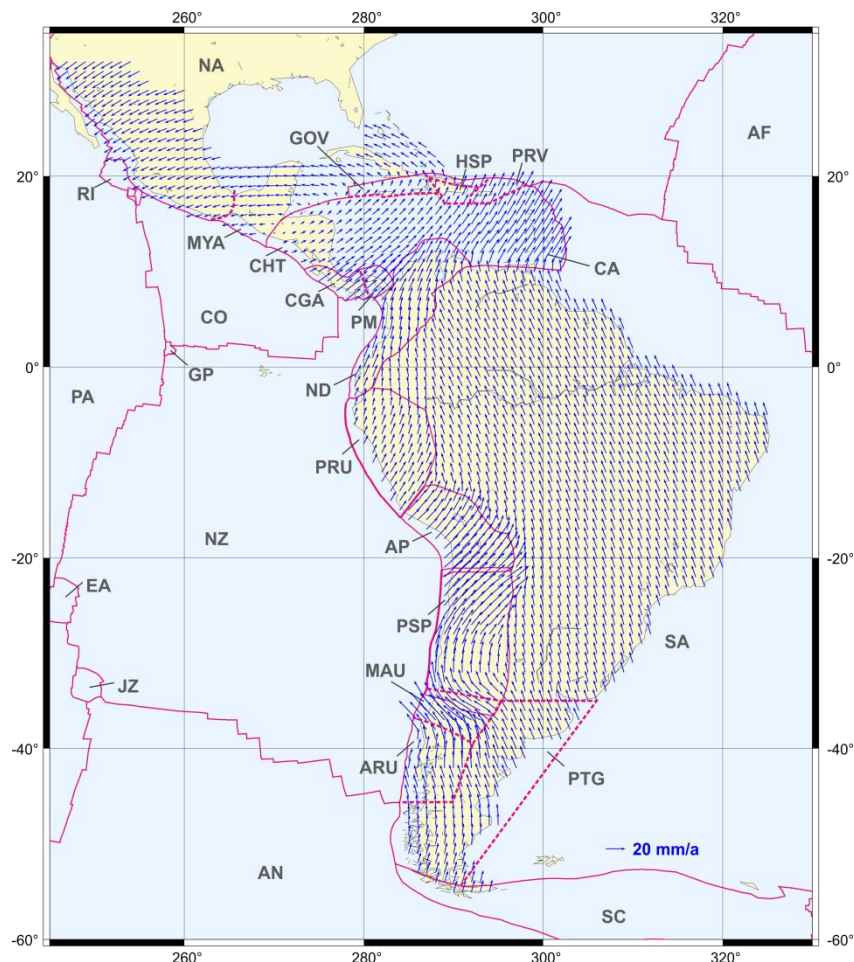
Sapucci e Monico (2000) ilustram a necessidade de que nos referenciais geodésicos modernos é necessário que se leve em conta a velocidade das placas que compõem a superfície da Terra. O comportamento temporal mais irregular é devido principalmente aos deslocamentos das placas tectônicas e, de forma secundária e episódica, por deformações locais (DREWES e SÁNCHEZ, 2013).

Segundo Báez Soto (2006), a posição e a velocidade final das estações são estimadas transformando a posição das estações para um mesmo referencial. São supostamente eliminados os efeitos do movimento global da placa, tal que são representados somente os movimentos residuais, os quais podem ser entendidos como devidos às deformações intraplaca, ou seja, as deformações dentro das placas rígidas, tal como acontece ao longo de falhas ativas e efeitos isostáticos associados a cadeias de montanhas (DREWES, 1993).

Na placa SOAM, particularmente no Brasil, os movimentos crustais intraplacas são pequenos comparados com regiões com atividades tectônicas pronunciadas. Nas zonas periféricas da placa ocorrem movimentos relativos com distintas direções, sentidos e magnitudes, gerando diversos tipos de estruturas geológicas, como azimutes de falhas, espalhamento do solo oceânico, variações de

anomalias magnéticas, entre outras (PEREZ, 2002; PEREZ et al. (2003)). Para combinação dessas estruturas geológicas é indicado o modelo geofísico *No Net Rotation - Northwestern University VELOCITY model 1A* (NNR-NUVEL-1A) (DE METS et al., 1990; 1994). A teoria da tectônica de placas está baseada principalmente em levantamentos geológicos e geofísicos que representam uma tendência média de movimento avaliada sobre milhões de anos

FIGURA 15 - MODELO DE VELOCIDADES PARA AMÉRICA DO SUL E CARIBE (VEMOS2015)
REFERIDO AO ITRF2008



FONTE: Sánchez e Drewes (2016b)

As placas litosféricas são a fragmentação da crosta terrestre em diversas partes. Em decorrência de aspectos geodinâmicos, estas placas se movem continuamente com diferentes magnitudes, direções e sentido do movimento relativo de acordo com a região em que estão localizadas (ZAKATOV, 1981, p. 279; COSTA, 1999, p. 108). O sentido do movimento relativo é descrito por um vetor de rotação

denominado Vetor de Euler (vetor geocêntrico de rotação), sendo especificado quando se tem a latitude e a longitude do polo de rotação, adicionalmente com a velocidade angular de rotação (TURCOTTE e SCHUBERT, 2001, p. 32). O módulo do Vetor de Euler ou Polo de Euler, ainda chamado de polo de rotação é proporcional à velocidade angular no extremo do vetor, localizado na crosta terrestre (DREWES, 1982, p. 71).

Os vetores de Euler estimados podem ser transformados em velocidades de estações e comparados com observações geodésicas. Três parâmetros são necessários para especificar o vetor de Euler ($\vec{\Omega}$), sendo comumente representado em um sistema cartesiano a partir das três componentes Ω_x, Ω_y e Ω_z ou pelos vetores de rotação geocêntricos, dado pelas coordenadas do polo de rotação (Φ, Λ) e a velocidade de rotação da placa (ω), (DE METS et al. (1990); COSTA et al. (2003)). O problema geométrico do movimento das placas consiste em estabelecer o polo de rotação de cada placa e a sua velocidade angular.

Os movimentos crustais horizontal ou vertical são determinados pela repetição de medições geodésicas, realizadas em uma determinada época ou continuamente (TORGE, 2001, p. 355). Cada movimento diferencial ($\Delta \vec{x}_i$) de um ponto $P_i(\vec{x}_i)$ sobre a placa k em um intervalo de tempo (Δt), pode ser descrito matematicamente pela equação (44):

$$\Delta \vec{x}_i = (\vec{\Omega}_k * \vec{x}_i) \Delta t \quad (44)$$

Em relação à equação (44) quando se adota um sistema de coordenadas esféricas, representa-se o vetor de rotação $\vec{\Omega}_k$ a partir de (Φ_k, Λ_k) e da velocidade de rotação (ω_k), o vetor \vec{x}_i é representado pela latitude e longitude geodésica (φ_i, λ_i) e os deslocamentos de P_i por $(\Delta \varphi_i, \Delta \lambda_i)$. As velocidades de um ponto na placa em relação ao tempo são obtidas derivando a equação (44). Sendo assim, encontra-se a relação dos pequenos deslocamentos $\Delta \varphi$ e $\Delta \lambda$ e os parâmetros da placa (Φ, Λ, ω) , estas são calculadas pela equação (45) Drewes (1982, 1993, 1998):

$$\begin{aligned} \Delta \varphi_i &= \frac{d\varphi}{dt} = \omega_k \cos(\Phi_k) \operatorname{sen}(\lambda_i - \Lambda_k) \\ \Delta \lambda_i &= \frac{d\lambda}{dt} = \omega_k [\operatorname{sen}(\Phi_k) - \cos(\lambda_i - \Lambda_k) \operatorname{tag}(\varphi_i) \cos(\Phi_k)] \end{aligned} \quad (45)$$

O deslocamento em um sistema cartesiano (MCCARTHY, 1996) é dado pela equação (46):

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{dx}{dt} = \Omega_Y Z - \Omega_Z Y \\ \Delta y &= \frac{dy}{dt} = \Omega_Z X - \Omega_X Z \\ \Delta z &= \frac{dz}{dt} = \Omega_X Y - \Omega_Y X\end{aligned}\tag{46}$$

Das equações (45) e (46) vale ressaltar que $\frac{d\varphi}{dt}$ e $\frac{d\lambda}{dt}$ são dados em $\left(\frac{^\circ}{MA}\right)$, sendo MA = milhões de anos e $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}$ são dados em $\left(\frac{mm}{ano}\right)$.

Destaca-se que, os modelos de placas tectônicas determinados com observações geodésicas utilizam as velocidades obtidas com técnicas GNSS, VLBI e SLR. Alguns desses modelos são: *Recent Plate Velocities* (REVEL) (SELLA et al., 2002); *Actual Plate Kinematic Model* (APKIM) (DREWES, 1998); APKIM2003 (DREWES e MEISEL, 2003); APKIM2008 (SÁNCHEZ e DREWES, 2016b). Outros estudos com o objetivo de determinar o campo de velocidades da parte estável da placa SOAM foram desenvolvidos, tais como: Costa et al. (2003), Perez et al. (2003) e Báez Soto (2006).

2.9 A CONTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE POSICIONAMENTO TRIDIMENSIONAL NOS ESTUDOS DA GEODINÂMICA

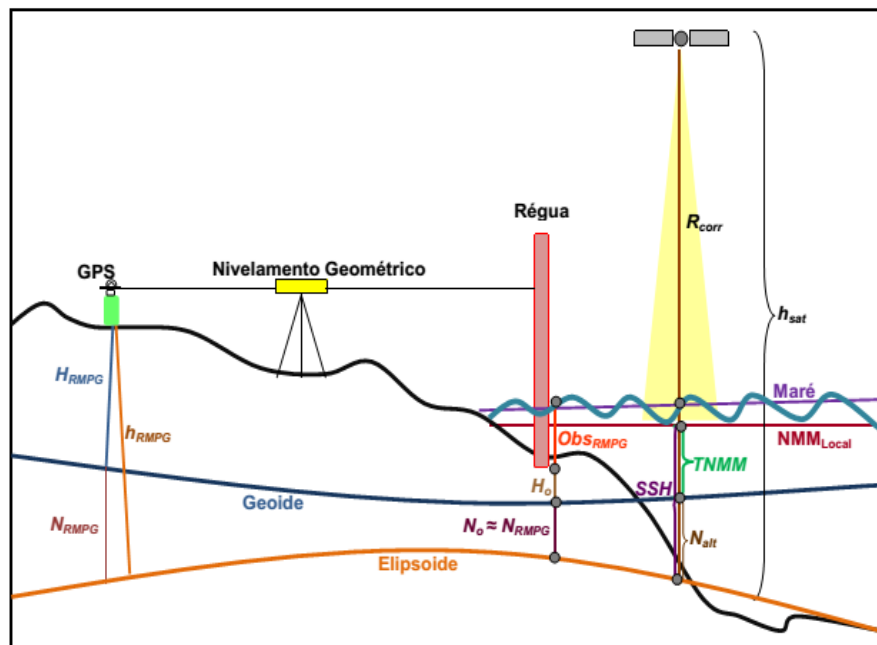
A partir dos resultados baseados nas técnicas espaciais mais precisas de posicionamento, tais como: VLBI, SLR, LLR, GNSS e DORIS, provenientes de vários centros de análises, pode-se determinar os Parâmetros de Orientação da Terra (EOP - *Earth Orientation Parameters*) que são produzidos a partir de uma combinação de um conjunto de coordenadas e velocidades. O emprego destas tecnologias trouxe uma série de vantagens, mas também, inseriu novos problemas. Estes estão associados, principalmente, com o estabelecimento de relações entre os sistemas de referência das diferentes técnicas espaciais (JEKELI, 2000).

As observações obtidas pelas estações da RBMC são processadas de acordo com procedimentos científicos segundo os padrões do IERS relativamente à

materialização e manutenção do ITRS. As estações RBMC são parte do SIRGAS-CON. Avalia-se que estas estações são adequadas ao monitoramento da posição tridimensional na ordem do milímetro em vista das tecnologias e métodos empregados. A composição de sucessivos resultados com esse nível de precisão ao longo de vários anos, leva à obtenção de valores de variação anual da posição com precisão submilimétrica.

Os aspectos referidos apontam para a viabilidade do monitoramento da posição geocêntrica das estações da RMPG com base na RBMC. A Figura 16 sintetiza as discussões precedentes onde se observa a régua de maré que representa os sensores maregráficos das estações da RMPG e as diversas grandezas geodésicas: as altitudes físicas H (normais ortométricas), as altitudes elipsoidais h do posicionamento GNSS, as altitudes geoidais N , a $TNMM$, e a *Sea Surface Height* (SSH) derivada da medida de distância (*range*) R da Altimetria por Satélites, ou seja, a SSH é a distância do NMM em relação ao elipsoide de referência.

FIGURA 16 - VÍNCULOS ENTRE OS NÍVEIS DE REFERÊNCIA GEODÉSICOS IMPLÍCITOS NA INTEGRAÇÃO DE OBSERVAÇÕES E MODELOS GEODÉSICOS



FONTE: Adaptado BOSCH et al. (2008).

O *Global Sea Level Observing System* (GLOSS) recomenda que exista pelo menos uma RN próxima ao sensor do marégrafo para ser adotada como padrão,

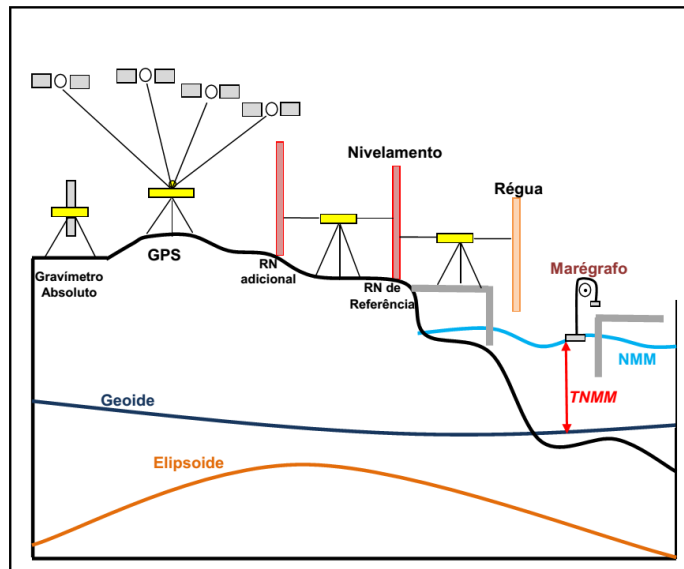
sendo que esta tem que ser fixada em um local estável e seguro (IOC, 2006, p. 35). O Controle Geodésico de Estações Maregráficas busca a correção dos movimentos verticais nas observações maregráficas, onde os resultados podem ser obtidos diretamente do processamento das observações GNSS. Destaca-se que, através de um gravímetro também se obtém medições de movimento da crosta. Neste sentido, as observações mais acuradas são efetivadas com gravímetros supercondutores com derivas praticamente nulas (TORGE, 1981). Os movimentos verticais da crosta, em grande parte são cíclicos e associados com a componente vertical das denominadas marés terrestre. Mais detalhes podem ser vistos no *International Centre for Earth Tides* (ICET, 2016). Também causam variações verticais: os efeitos hidrológicos associados às variações dos lençóis freáticos, respostas pós-glaciais, variações da pressão atmosférica, entre outros efeitos dinâmicos.

As marés terrestres têm uma componente considerável que não varia periodicamente com o tempo, mas é permanente. Esta é a denominada maré permanente que nas áreas polares são baixas e nas áreas equatoriais são mais altas (MÄKINEN e IHDE, 2009). Destaca-se que este efeito é devido à interação gravitacional da Terra com a Lua e o Sol, produzindo deformações no corpo planetário e variações no geopotencial (EKMAN, 1989).

A Figura 17 apresenta um esquema de uma rede de nivelamento local dentro de um sistema para medição do NMM sem os possíveis efeitos do movimento vertical da crosta. Na Figura 17, observa-se que para detecção de possíveis movimentos da crosta considera-se próximo ao marégrafo uma estação GNSS e um gravímetro absoluto, além de RNs com miras sobrepostas para realização do nivelamento e a régua maregráfica próxima ao marégrafo. Esse esquema apresentado na Figura 17 é importante para se vincular sensores distintos. Como por exemplo, as estações GNSS ou GPS da RBMC têm instalações distintas dos sensores maregráficos. Então, para que se possa integrar os dados provenientes de distintos sensores é necessário vincular os sensores do marégrafo e da régua com o pilar GNSS via nivelamento geométrico, onde a IAG indica uma precisão melhor que 1mm/km. De acordo com IOC (2006, p. 37), os estudos que são relacionados com o monitoramento do nível do mar e da área ao redor do marégrafo exigem determinadas precisões no rastreamento GPS, isto se deve ao fato das discrepâncias que possivelmente estão presentes no fechamento da linha de nivelamento, a partir de

cerca de 10 km. Na Tabela 3 resumem-se as discrepâncias em relação às distintas técnicas.

FIGURA 17 - NIVELAMENTO ENTRE RNs E A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA



FONTE: Adaptado IOC (2006)

TABELA 3 - DISCREPÂNCIAS ACEITAS NO NIVELAMENTO PRÓXIMO AO MARÉGRAFO

TÉCNICA	DISTÂNCIA: PRECISÃO ou DISCREPÂNCIAS
Nivelamento de Referência Local (Primeira Ordem)	0 – 1 km: < 1 mm 1 – 10 km: < 1 cm
Nivelamento em área maior	< 1 cm
Gravidade Absoluta e GPS próxima ao marégrafo	< 1 cm

FONTE: Adaptado de IOC (2006)

As observações maregráficas podem ser transformadas para o mesmo sistema de referência das observações da altimetria por satélites, conforme IBGE (2010). Segundo Ekman (1989) os Sistemas de Maré Permanente (SMPs) que precisam ser compatibilizados são:

1. Sistema de Maré Removida (SMR) (*non-tidal* ou *tide-free*) – São eliminados completamente os efeitos de deformação e os efeitos diretos e indiretos do potencial associados à maré permanente. Ressalta-se que o ITRF e o EGM96

usam convenções arbitrárias para estabelecer SMR (HECK, 2004). Mais detalhes também podem ser vistos em De Freitas et al. (2007a). Segundo Mäkinen e Ihde (2009), o SIRGAS2000 foi estabelecido no SMR. Assim como o posicionamento GPS, segundo Poutanen et al. (1996), pois neste a parte permanente da deformação de maré não é restaurada.

2. Sistema de Maré Média (SMM) (*mean tide*) – O efeito permanente não é removido, onde se mantém os valores médios das deformações da crosta da Terra, e seu efeito sobre o potencial da gravidade associados à maré permanente. Destaca-se que este procedimento foi adotado na realização do sistema gravimétrico do *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN-71) e os resultados da altimetria por satélite (MÄKINEN, 2000).
3. Sistema de Maré Zero (SMZ) (*zero tide*) – Aplicado apenas no campo da gravidade, sendo eliminados os efeitos diretos do potencial gerador da maré permanente sobre o potencial da gravidade e mantidos os seus efeitos indiretos. Ressalta-se que este sistema foi recomendado pela IAG na *XVIII General Assembly of the IUGG, 1983*, o qual está expresso na Resolução nº 16 (IAG, 1983). Mais pormenores em relação à correção dos efeitos da maré permanente podem ser vistos em De Freitas et al. (2007a).

Segundo Ferreira et al. (2013) no SVR brasileiro não se considerou os efeitos de maré nas operações de nivelamento, onde para as altitudes normais ortométricas considera-se o SMM, pois neste, como já mencionado anteriormente, não se precisa realizar nenhuma correção. A integração das informações de altimetria por satélites à RMPG e, à RVFB contribui para o aprimoramento das altitudes do SGB.

Assim como no Brasil, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos para a unificação de referenciais dentro do contexto do IHRs, a partir da análise do nível médio do mar com a utilização de dados provenientes da altimetria por satélites, observações maregráficas e GNSS, de forma integrada, além de metodologias para padronização da unificação de sistema de altitudes. Entre muitos trabalhos destacam-se: Wagner et al. (1995) que utilizaram dados da missão T/P associados com análise de maré; Novotny et al. (2006) que realizaram a combinação de dados

de altimetria por satélites com observações maregráficas e um modelo oceanográfico do Mar Báltico; Scharroo e Miller (2006) que realizaram a partir de dados altimétricos multimissão uma análise da mudança global e regional do nível do mar; Beckley et al. (2007) fizeram uma reavaliação das tendências globais e regionais do nível médio do mar com base em dados da altimetria por satélites; Larson et al. (2013) utilizaram um único receptor geodésico para realizar medições do nível do mar. Sánchez (2012) realizou a padronização do DV baseada na unificação do sistema de altitudes a partir das premissas do GGOS. BÂKI IZ et al. (2013) utilizaram um modelo para analisar a aceleração das estações, considerando um número de estações GPS e dados de altimetria por satélite. Löfgren et al. (2014) fizeram análise de séries temporais de observações GPS do nível do mar em distintos locais. Ferreira et al. (2016) estimaram a discrepância entre as RVFB locais, realizadas a partir do sistema de altitude normal ortométrica e o modelo global do quase geoide, para vincular a um IHRS.

3. ASPECTOS GERAIS DO DVB E ANTECEDENTES

No presente capítulo apresentam-se a revisão de literatura e os aspectos gerais do DVB-I como embasamento para o desenvolvimento da metodologia desta pesquisa que será apresentada nos capítulos seguintes. De forma mais central são abordados os principais aspectos associados à análise da evolução temporal do DVB-I.

3.1 DATUM VERTICAL BRASILEIRO DE IMBITUBA

Segundo Dalazoana (2006) e Luz (2008), a implantação da Rede Vertical Brasileira iniciou-se em 1945, em Santa Catarina, por meio de nivelamento geométrico. Sendo tomado como referência o *Datum* de Torres, com caráter provisório, pois o mesmo foi definido apenas com um ano de observações do nível do mar (1919-1920). Em 1949, o *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS) iniciou a implantação da rede de estações maregráficas ao longo da costa brasileira.

Desde 1949 foram realizados diversos nivelamentos nas estações altimétricas que materializam o *Datum* de Imbituba. Em 1958, o *Datum* de Torres foi substituído pelo *Datum* de Imbituba, por possuir uma série temporal mais longa. Em 1959, foi então definido e adotado o *Datum* de Imbituba, através da promédia dos níveis médios do mar anuais, entre 1949 e 1957 (ALENCAR, 1990, p.70), no Porto de Imbituba, a partir do pressuposto que o NMM materializava o geoide. As médias mensais e anuais da rede maregráfica do IAGS encontram-se armazenadas no *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), sendo que de Imbituba as observações após 1969 ainda não foram recuperadas. As observações existentes são de 1949 a 1969.

A partir da década de 1980, com o advento das modernas técnicas espaciais, evidenciou-se que existem diferenças entre o NMM e o geoide, a então já mencionada: *TNMM*. Diante dessa diferença, as altitudes passaram a apresentar inconsistências quando integradas às modernas técnicas baseadas em satélites artificiais. Então, em 1997, a Universidade Federal do Paraná (UFPR) em conjunto com o IBGE iniciou as distintas campanhas multiparamétricas na área do *Datum*, que seriam realizadas ao longo dos anos. Dentre elas destacam-se: posicionamento

GPS, monitoramento da pressão atmosférica, marés terrestres e oceânicas, bem como a recuperação das referências altimétricas históricas, reativação da estação maregráfica, gravimetria e densificação de observações geodésicas na região contígua envolvendo o Sistema Lagunar de Imaruí e ainda a busca do vínculo da RVFB com o IHRs (CORDINI, 1998; DALAZOANA, 2006; MIRANDA, 2006; LUZ, 2008; FERREIRA, 2008; LUZ et al., 2009; PALMEIRO, 2011, DA SILVA et al., 2016).

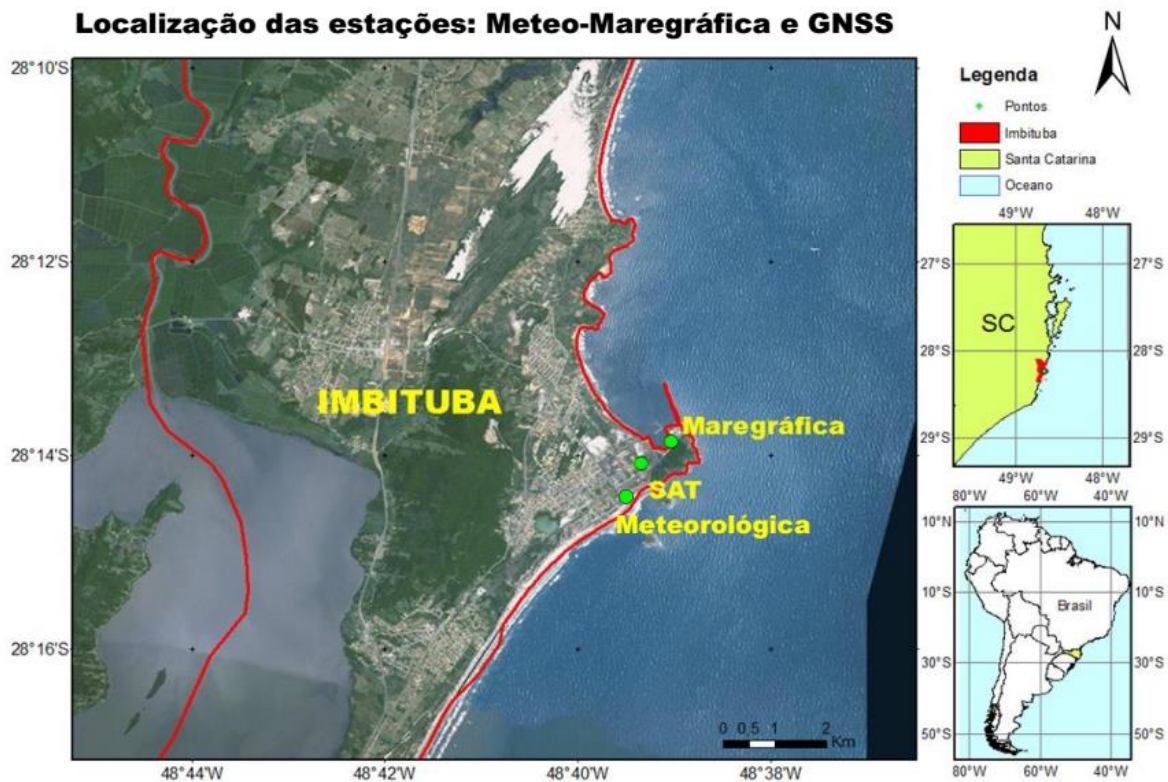
Depois do estabelecimento do DVB-I não foram realizadas alterações na sua definição, apesar de existirem observações em Imbituba e em outras estações, para períodos bem maiores (LUZ e GUIMARÃES, 2003). Para corrigir os problemas entre os levantamentos geodésicos terrestres e a observação do nível do mar, o IBGE iniciou em 1994 a operação de estações maregráficas com características geodésicas. Em 1999, as autoridades portuárias em Imbituba retomaram a observação convencional do nível do mar, e em 2001, o IBGE instalou equipamentos maregráficos e meteorológicos digitais para acompanhamento do DVB-I (LUZ et al., 2006). Na época da realização do DVB-I não se considerou a inclusão de observações da gravidade e da *TNMM*, o mesmo aconteceu na grande maioria da realização dos DVs em outros países (DALAZOANA, 2006).

Na Figura 18 apresenta-se a localização do DVB-I, onde se destaca: uma imagem que define o município de Imbituba e a localização das estações Meteo-Maregráfica e GNSS; localização de Imbituba no Estado de Santa Catarina (SC); localização de Santa Catarina no país e no continente.

No DVB-I são envolvidos diversos níveis de referência fundamentais para o estudo da sua evolução e vínculos históricos. Dalazoana (2006) realizou um extenso trabalho de recuperação de vínculos entre níveis de referência no DVB-I, possibilitando a integração de novas observações com sensores modernos aos níveis de referência históricos. Tal estudo foi fundamental para o desenvolvimento de novas pesquisas. Ferreira (2008) realizou uma estimativa da *TNMM* no DVB-I com base no ajuste da superfície média do Sistema Lagunar de Imaruí ao Modelo Global do Geopotencial EGM1996. Palmeiro (2011) deu sequência aos estudos, realizando integração de soluções livres e fixadas do PVCG com base em gravimetria terrestre, marinha e derivada da altimetria por satélites bem como, MGGs mais atuais, os quais permitiram uma estimativa da *TNMM* para o vínculo da RVFB a um IHRs conforme diretivas atuais do GGOS (IHDE et al., 2007; 2015; IAG, 2016b). Palmeiro et al. (2013) trataram de diversas facetas da solução do PVCG nas

formas livres e fixadas junto ao DVB-I, mostraram que a associação dos geoides gravimétricos locais com o pretendido geóide global com geopotencial W_0 envolve uma série de problemas associados. Estes são consequências dos distintos Níveis de Referência (NRs) envolvidos além das resoluções das diversas bases de dados utilizadas, conforme pode ser visto na Figura 19.

FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DO DVB-I EM SC ONDE ESTÃO INSTALADAS AS ESTAÇÕES METEO-MAREGRÁFICA E GNSS

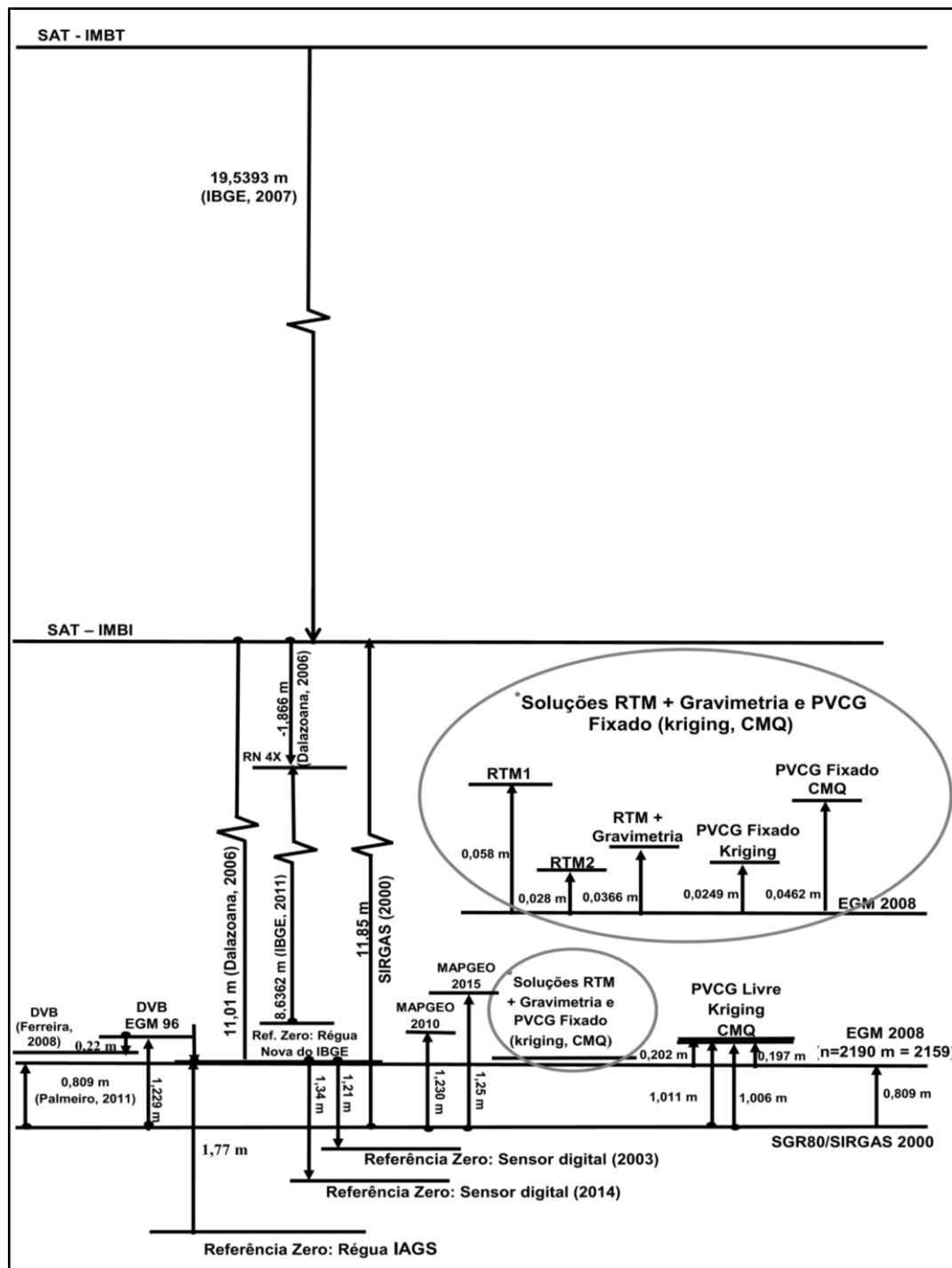


Tendo como consequências os distintos NRs e resoluções de diversas bases de dados, Palmeiro (2011) aplicou distintas técnicas na obtenção de soluções para as altitudes geoidais da estação de Imbituba (IMBI). As soluções foram obtidas a partir de MGGs, utilizando Colocação por Mínimos Quadrados (CMQ), e o Modelo de Ondulação Geoidal (MAPGEO 2010), atualmente já há uma atualização para 2015, o qual foi utilizado nesta pesquisa.

Sendo assim, como pode ser visto na Figura 19 e a partir destes argumentos, apresentam-se na Tabela 4 as relações dos zeros de referência com os níveis de referência de caráter global (*Earth Gravitational Model 2008 - EGM2008*), destacam-se os cálculos realizados por Palmeiro (2011), nível de referência

geométrico (SGR80/SIRGAS2000) e os NRs locais no DVB-I, destacando a solução realizada por Ferreira (2008). Ressalta-se que a existência de distintas bases de dados, oriundas fontes, resoluções espaciais e referenciais distintos, é um problema na ideia de conexão da RVFB a um IHRS.

FIGURA 19 - RELAÇÕES DOS ZEROS DE REFERÊNCIA COM OS NÍVEIS DE REFERÊNCIA EM CARÁTER LOCAL E GLOBAL



FONTE: Atualizado e adaptado de Dalazoana (2006) e Palmeiro (2011)

O estudo da compatibilidade de distintas fontes de dados, tais como observações maregráficas e altimetria por satélites, as quais refletem a superfície dinâmica dos oceanos, também devem ser consideradas. Em Dalazoana (2006) destaca-se a existência das discrepâncias que não podem ser totalmente explicadas apenas pelos efeitos dinâmicos da Terra, mas que também, estão associadas aos diferentes sistemas de referência usados.

TABELA 4 - RELAÇÕES DOS ZERO DE REFERÊNCIA COM OS NÍVEIS DE REFERÊNCIA DO DVB-I

REFERÊNCIA ZERO				
RELAÇÃO	RÉGUA IAGS	SENSOR DIGITAL (2003)	SENSOR DIGITAL (2014)	RÉGUA NOVA IBGE
Régua IAGS	0 m	-0,56 m	-0,43 m	-1,77 m
Sensor Digital (2003)	0,56 m	0 m	0,13 m	-1,21 m
Sensor Digital (2014)	0,43 m	-0,13 m	0 m	
Régua Nova	1,77 m	1,21 m	1,34 m	0 m
SGR80	0,96 m	0,40 m	0,53 m	-0,81 m
EGM2008	1,77 m	1,21 m	1,34 m	0 m
Palmeiro (2011)*	0,96 m	0,40 m	0,53 m	-0,81 m
EGM96	2,19 m	1,63 m	1,76 m	0,42 m
Ferreira (2008)**	1,97 m	1,41 m	1,54 m	0,20 m
MAPGEO2010	2,19 m	1,63 m	1,76 m	0,42 m
MAPGEO2015	2,21 m	1,65 m	1,78 m	0,44 m

FONTE: Adaptado da Figura 7 pela Autora

* Palmeiro (2011) utilizou modelos disponíveis na página do ICGEM

** Ferreira (2008) realizou o cálculo do número geopotencial e comparou com o EGM96.

O monitoramento GNSS junto ao DVB-I foi estabelecido visando avaliar o comportamento dinâmico da crosta na região. O IBGE com a colaboração da UFPR há cerca de 20 anos vem realizando o acompanhamento da posição geocêntrica, velocidade, efeitos locais e a discriminação de perturbações (efeitos meteorológicos) em Imbituba.

Em Imbituba, nas proximidades do marégrafo, foi materializada em 2007 a estação IMBT do SIRGAS-CON (SAT - 94024 - Código Internacional, do banco de dados do IBGE). Esta estação foi estabelecida como sucessora da estação IMBI (SAT - 91854) onde foram realizadas campanhas por posicionamento GPS. As

campanhas na estação IMBI foram esporádicas, processadas com o *software* Bernese 5.0, realizadas em no mínimo 10 dias de observações contínuas (1997, 2000 e 2005) (DE FREITAS, 2007). As campanhas esporádicas serviram como estratégia para efetivação de melhores soluções e resolução de ambiguidades, utilização de órbitas precisas, utilização dos parâmetros de calibração das antenas; aplicação de modelos de correção de marés e carga oceânica para as posições e velocidades estimadas (DE FREITAS, 2007). Mais detalhes em relação ao processamento no *software* Bernese 5.0 podem ser vistos em Costa et al. (2012).

As duas estações foram conectadas por 17 dias de observações GNSS, juntamente com métodos geodésicos e topográficos e de nivelamento de travessia, aferição do marégrafo de Imbituba mediante “*Teste de Van de Castele*” (IBGE, 2007). Destaca-se que a realização do controle vertical das RNs e da posição geocêntrica do marégrafo ao longo de campanhas foi primordial para a vinculação das estações IMBI e IMBT. Mais detalhes podem ser vistos em IBGE (2007) e IBGE (2013).

Há ainda vários aspectos operacionais relacionados ao DVB-I que devem ser considerados. Dentre eles pode-se destacar a busca pela recuperação de séries temporais das observações do nível do mar assim como determinar a evolução temporal da sua posição geocêntrica e a busca de alternativas para obtenção da evolução do NMM desde a definição do *Datum*, discriminando inclusive possíveis mudanças de tendências (DALAZOANA, 2006; LUZ, 2008). Outros aspectos a serem considerados estão vinculados à instrumentação empregada, como a calibração do marégrafo, por exemplo. Esta pesquisa busca abordar os aspectos relacionados que não foram considerados anteriormente nas pesquisas, no DVB-I, mencionadas.

3.2 DADOS DISPONÍVEIS PARA ANÁLISE DO NÍVEL DO MAR NO DVB-I: MARÉGRAFOS

Até o final de 1968, a estação maregráfica de Imbituba era operada e mantida pela IAGS, os dados eram digitalizados e enviados ao PSMSL. No BD do PSMSL é possível a obtenção de médias mensais e anuais para o período de 1948 a 1968. A partir de 1969, a operação da estação ficou sob responsabilidade das autoridades portuárias brasileiras. Segundo Dalazoana (2006) registros gráficos

(maregramas) de 1969 a 1986, se existem, ainda não foram localizados. Mas técnicos do IBGE conseguiram recuperar maregramas referentes ao período de 1986 a 1992. Do período de 1992 a 1998 a operação da estação foi interrompida. Em 1998, o controle operacional do marégrafo em Imbituba foi recuperado, a Coordenação de Geodésia do IBGE passou a digitalizar os registros gráficos (DALAZOANA et al., 2003; DALAZOANA, 2006).

No final da década de 1990, a RMPG foi proposta buscando a transição para o *Datum* Vertical SIRGAS e a correlação entre o DVB-I e outras referências altimétricas existentes ao longo da costa brasileira (LUZ et al., 2002). As primeiras estações da RMPG foram estabelecidas em 2001, mas a operação completa foi alcançada em 2008, quando todas as cinco estações que atualmente fazem parte da RMPG passaram a ter o conjunto dos sensores maregráficos (digitais e convencionais) e réguas de marés especiais, projetadas para operação de longo prazo sem necessidade de substituição frequente (IBGE, 2013). A Figura 20 apresenta a distribuição espacial dos marégrafos ao longo da costa, apresentados também na Tabela 5.

FIGURA 20 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG

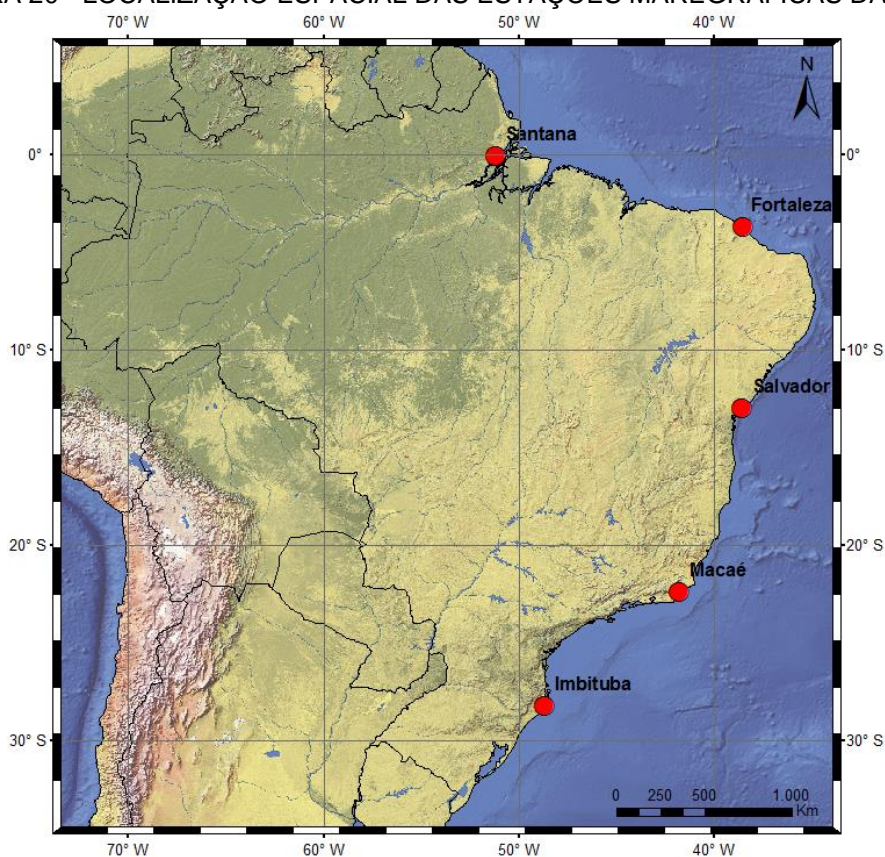


TABELA 5 - ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO DE DADOS ⁶
Imbituba⁽¹⁾	28°13'52"S	48°39'02"W	^(*) 2006 a data atual
Santana⁽²⁾	00°03'41"S	51°10'04"W	^(**) 2007 a data atual
Fortaleza⁽³⁾	03°42'52"S	38°28'36"W	^(***) 2008 a data atual
Salvador⁽⁴⁾	12°58'26"S	38°31'02"W	^(****) 2007 a data atual
Macaé⁽⁵⁾	22°23'08"S	41°46'10"W	^(*****) 2006 a 2015

FONTE: Adaptado do IBGE (2016b)

- (1) Estação operando desde 1998 com o marégrafo convencional, a partir de 2001 passa a operar o marégrafo digital compondo a Estação Maregráfica com dois sistemas independentes de observação de Nível do Mar. (*) Os dados estão disponíveis a partir de 24/11/2006.
- (2) Estação operando desde 2005 com o marégrafo convencional, no decorrer do mesmo ano passa a operar o marégrafo digital compondo a Estação Maregráfica com dois sistemas independentes de observação de Nível do Mar. (**) Os dados estão disponíveis a partir de 15/10/2007.
- (3) Estação operando desde 2007 com o marégrafo convencional, a partir do ano 2008 passa a operar com marégrafo digital compondo a Estação Maregráfica com dois sistemas independentes de observação de Nível do Mar. (***) Os dados estão disponíveis a partir de 15/10/2007.
- (4) Estação operando desde dezembro de 2002 com o marégrafo convencional, a partir do ano 2004 passaram a operar o marégrafo digital acústico e em 2008 é substituído pelos marégrafos digitais e *encoder* compondo a Estação Maregráfica com dois sistemas independentes de observação de Nível do Mar. (****) Os dados estão disponíveis a partir de 02/04/2007.
- (5) Estação iniciou a operação em novembro de 1994 com o marégrafo convencional e a partir de julho de 2001 passa a operar com o marégrafo digital compondo a Estação Maregráfica com dois sistemas independentes de observação de Nível do Mar. (*****) Os dados estão disponíveis a partir de 05/01/2006, ficando inoperante a partir de 01/06/2015, sendo retirada da RMPG em 2016.
- (6) Vale ressaltar que no período de disponibilidade dos dados, houve período de inatividade, em todas as estações.

A RMPG foi implantada com o objetivo de realizar o monitoramento contínuo do Nível do Mar ao longo da costa brasileira. Com base nesta estrutura da RMPG podem ser detectadas algumas inconsistências em dados temporais e que necessitam ser resolvidas, como por exemplo, investigação de novos modelos, para a conexão de séries temporais atuais com as antigas e com as diversas edições históricas dos ajustamentos da RVFB, em vista do desconhecimento dos

movimentos eustáticos e epirogênicos nos pontos de observações maregráficas. Vale ressaltar que para a obtenção de dados do nível do mar na costa brasileira, há dados disponíveis em outros órgãos relativos a outros marégrafos, além dos pertencentes à RMPG.

O IAGS, entre as décadas de 40 e 70, foi responsável pela manutenção, coleta e disponibilidade de dados de várias estações maregráficas na costa brasileira, dentre elas inclui-se Imbituba (SC). Este também apoiou o então Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais (DNPRC, depois Portobrás, hoje extinta) com a implantação de nove estações maregráficas na costa brasileira (LUZ e GUIMARÃES, 2003).

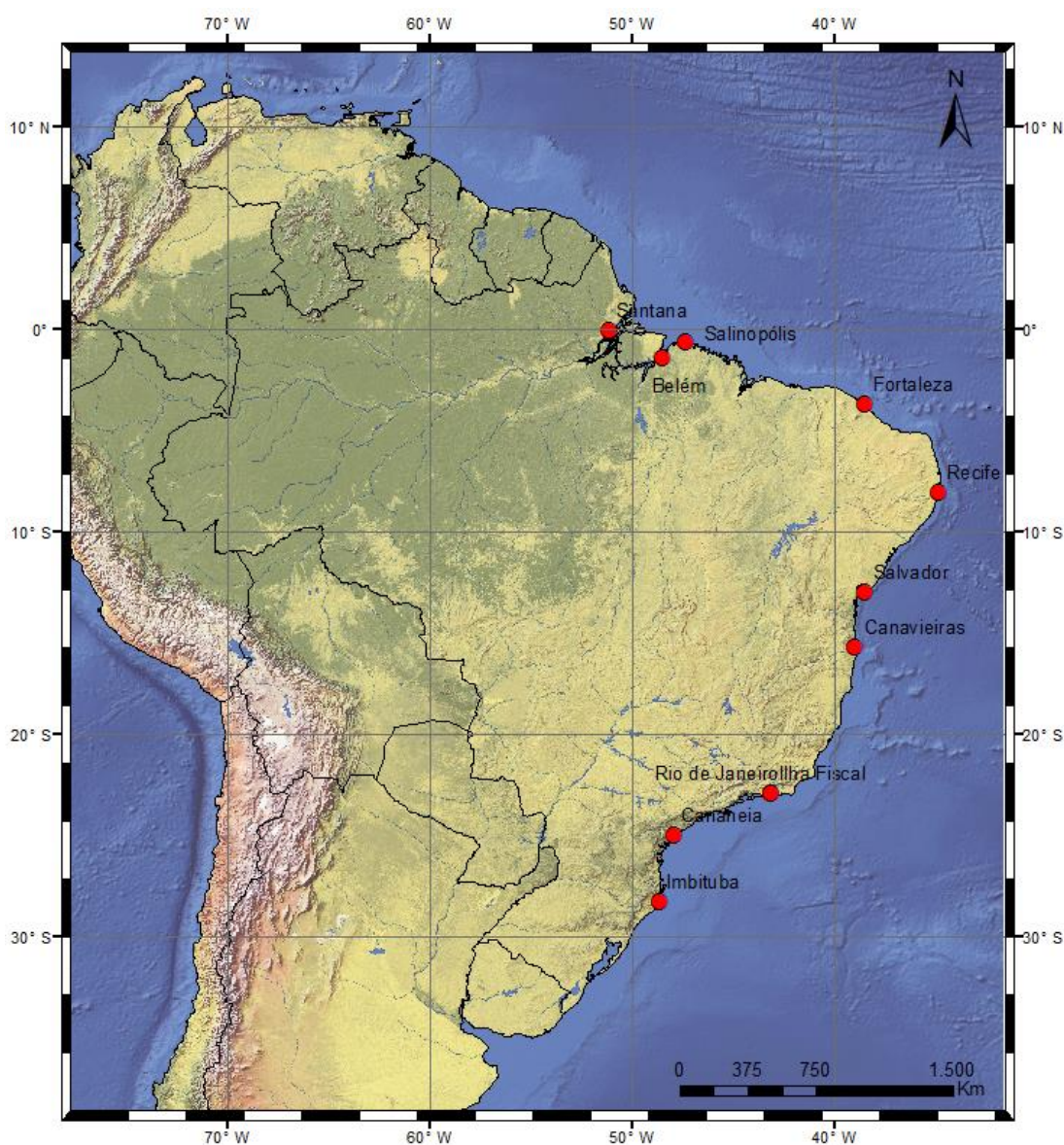
A Portobrás foi criada em 1975 para administrar os portos brasileiros e auxiliar na execução da Política Portuária Nacional (PPN). Em 1987 elaborou o Plano de Desenvolvimento Portuário do Brasil (PDPB) o qual dava subsídios a todos os portos brasileiros, pela continuidade do acervo maregráfico e gerenciamento da infraestrutura portuária. No fim dos anos 1980 a dissolução da Portobrás foi autorizada, pela Lei de Nº 8029/1990 (Brasil, 1990). Com a extinção da Portobrás em 1991, abriu-se uma crise em todo o sistema portuário nacional, criando um verdadeiro caos (GOULARTI FILHO, 2007). Os portos inicialmente ficaram ligados ao Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN). Mais detalhes podem ser vistos em Goularti Filho (2005; 2010). Destaca-se que, com a extinção da Portobrás algumas estações foram desativadas, inclusive a estação de Imbituba. Em 1992 foi fundada a Companhia Docas de Imbituba (CDI) assumindo toda a área portuária de Imbituba e as instalações existentes. No período o quebra-mar estava sendo construído para ampliação do porto, segundo o seu estatuto a CDI deveria continuar a construção.

A partir da fundação da CDI, o porto de Imbituba que recebia atracações esporádicas da Navegação Costeira, tornaram-se assíduas, até os dias atuais. As atracações são regidas pelo Código Internacional para a Segurança de navios e das Instalações Portuárias (*International Ship and Port Facility Security Code – ISPS Code*). Mais detalhes podem ser vistos em ISPS CODE (2016).

O PSMSL é um serviço internacional com a missão de coletar, publicar, analisar e interpretar valores médios mensais e anuais do nível do mar em qualquer marégrafo do mundo, desde que os responsáveis em cada país repassem estas informações. O Banco de Dados (BD) do PSMSL disponibiliza médias mensais e

anuais, referentes a algumas estações maregráficas brasileiras. A Figura 21 mostra a localização das estações maregráficas na costa brasileira que possuem dados no BD do PSMSL, atualmente.

FIGURA 21 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS NA COSTA BRASILEIRA COM DADOS NO PSMSL



Na Tabela 6 apresenta uma visão geral das informações das estações que estão presentes no BD do PSMSL. Como pode ser visto na Tabela 6, destaca-se que atualmente há disponibilidade de dados referente a 11 estações no BD do PSMSL. Dalazoana (2006) apresentou dados de 24 estações com disponibilidade de dados.

TABELA 6 - ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA COSTA BRASILEIRA COM DADOS NO PSMSL

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO DE DADOS
Imbituba	28°14' S	48°39' W	1948 a 1968
Cananéia	25°01' S	47°56' W	1954 a 2000
Fortaleza	03°43' S	38°29' W	1948 a 1968
Salinópolis	00°39' S	47°23' W	1949 a 1956
Belém	01°27' S	48°30' W	1949 a 1968
Santana	00°03' S	51°10' W	1984 a 1984
Rio de Janeiro	22°56' S	43°08' W	1949 a 1968
Ilha Fiscal	22°54' S	43°10' W	1963 a 1991
Canavieiras	15°40' S	38°58' W	1952 a 1963
Salvador	12°58' S	38°31' W	1949 a 1968
Recife	08°03' S	34°52' W	1948 a 1968

FONTE: PSMSL (2016)

Outro serviço que disponibiliza em seu BD informações de algumas estações maregráficas brasileiras, assim como do marégrafo de Imbituba é o Centro de estudos do Nível do Mar da Universidade do Hawai (*University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC) Research Quality*). Em seu BD há dados horários e médias diárias das estações maregráficas ao longo da costa brasileira e de outros países. A Figura 22 mostra a localização das estações maregráficas na costa brasileira que possuem dados no BD da UHSLC, atualmente. A Tabela 7 apresenta uma visão geral das informações das estações que estão presentes no BD da UHSLC.

Destaca-se que atualmente há disponibilidade referente a 21 estações. Em Dalazoana (2006) havia 19 estações, não havia dados disponíveis para as estações de Imbituba e Macaé.

Segundo Dalazoana (2006, p. 46), no Brasil existiram mais de 300 estações, utilizadas para fazer observações do nível do mar, embora a maioria por curtos períodos de tempo, e em alguns lugares não eram realizadas leituras nas réguas maregráficas e nem nivelamento geodésico. A maioria das estações serviu apenas para finalidades portuárias, de navegação ou de engenharia, como na elaboração de Tábuas de Maré (TMs) (Dalazoana, 2006, p. 46). A Fundação de Estudos do Mar (FEMAR), em seu endereço eletrônico (fundacaofemar.org.br), apresenta informações gerais de 281 estações maregráficas que existiram ou que ainda

existem na costa brasileira, essas informações estão no Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras (CEMB), FEMAR (2016).

FIGURA 22 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS NA COSTA BRASILEIRA COM DADOS NA UHSLC

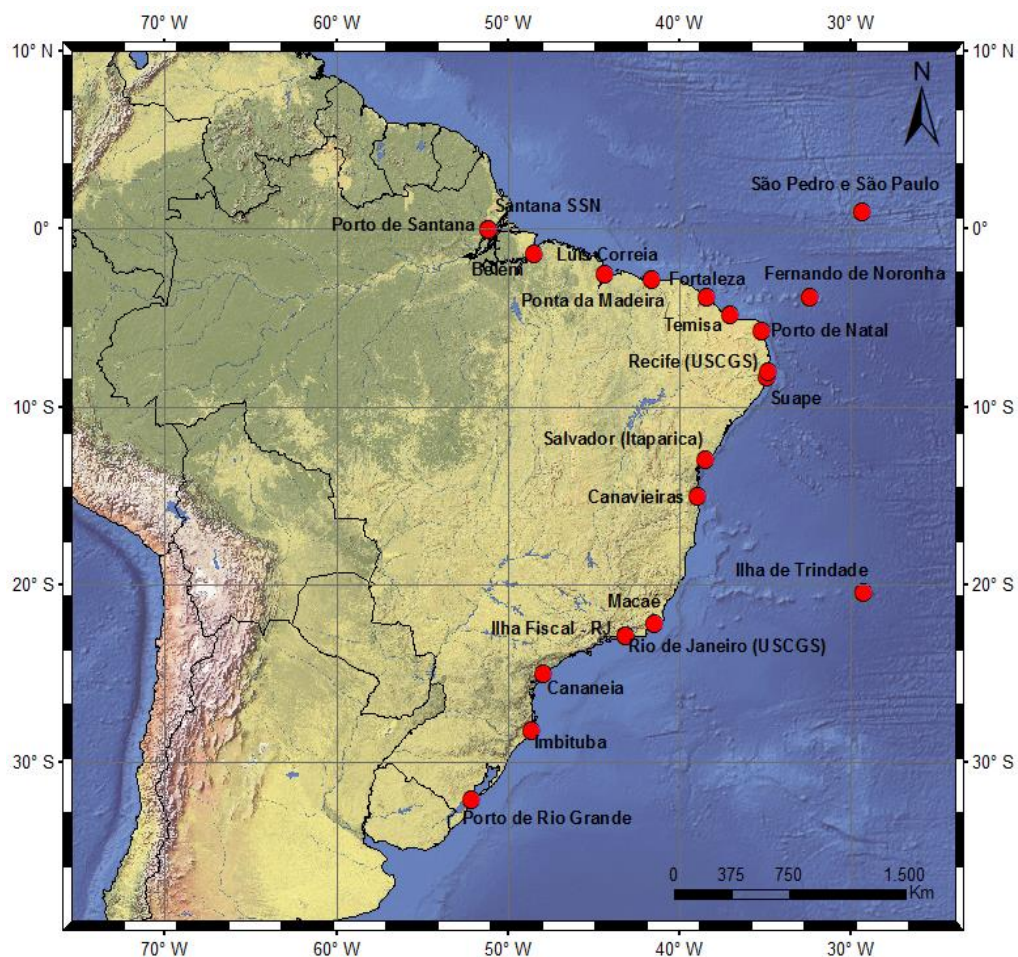


TABELA 7 - ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA COSTA BRASILEIRA COM DADOS NA UHSLC

Continua

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO DE DADOS ⁽¹⁾	COLABORADORES
São Pedro e São Paulo	00° 55' S	29° 21' W	1982 – 1985	ORSTOM ⁽²⁾
Porto de Natal A	05° 46' S	35° 12' W	1982 – 1983	ORSTOM
Porto de Natal B	05° 46' S	35° 12' W	1983 – 1984	ORSTOM
Porto de Natal C	05° 46' S	35° 12' W	1984 – 1985	ORSTOM
Fernando de Noronha A	03° 50' S	32° 24' W	1982 – 1983	ORSTOM
Fernando de Noronha B	03° 50' S	32° 24' W	1984 – 1985	ORSTOM
Fernando de Noronha C	03° 50' S	32° 24' W	1985 – 1986	LPAO/INPE ^(3, 4)
Ilha de Trindade	20° 30' S	29° 18' W	1983 – 1983	ORSTOM

Conclusão				
ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO DE DADOS ⁽¹⁾	COLABORADORES
Belém	01° 27' S	48° 30' W	1955 – 1988	NOS ⁽⁵⁾
Ilha Fiscal - RJ	22° 54' S	43° 10' W	1963 – 2012	DHN ⁽⁶⁾
Cananeia	25° 01' S	47° 56' W	1954 – 2006	IO/USP ^(7,8)
Fortaleza A	03° 53' S	38° 26' W	1955 – 1968	NOS
Fortaleza B	03° 53' S	38° 26' W	1995 – 1998	LPAO/INPE
Fortaleza C ^(*)	03° 53' S	38° 26' W	2008 – 2015	UHSLC
Termisa	04° 49' S	37° 03' W	1993 – 1995	INPE/OBT ⁽⁹⁾
Canavieiras	15° 04' S	38° 58' W	1956 – 1961	NOS
Salvador (Itaparica) A	12° 58' S	38° 31' W	1955 – 1964	NOS
Salvador (Itaparica) B ^(*)	12° 58' S	38° 31' W	2004 – 2015	UHSLC
Rio de Janeiro (USCGS)	22° 56' S	43° 08' W	1955 – 1968	NOS
Suape	08° 21' S	34° 57' W	1982 – 1984	LPAO/INPE
Luís Correia	02° 52' S	41° 40' W	1984 – 1985	LPAO/INPE
Recife (USCGS)	08° 03' S	34° 52' W	1955 – 1968	NOS
Porto de Rio Grande	32° 06' S	52° 11' W	1981 – 2003	DHN
Ponta da Madeira	02° 34' S	44° 22' W	1988 – 2003	DHN
Porto de Santana A	00° 03' S	51° 11' W	1970 – 1972	DHN
Porto de Santana B	00° 03' S	51° 11' W	1975 – 1976	DHN
Porto de Santana C	00° 03' S	51° 11' W	1984 – 1985	DHN
Porto de Santana D	00° 03' S	51° 11' W	1996 – 1997	DHN
Porto de Santana E ^(*)	00° 03' S	51° 11' W	2006 – 2007	DHN
Santana SSN A	00° 04' S	51° 10' W	1994 – 1995	DHN
Santana SSN B	00° 04' S	51° 10' W	1999 – 2000	DHN
Imbituba ^(*)	28° 14' S	48° 39' W	2001 – 2007	DHN
Macaé ^(*)	22° 14' S	41° 28' W	2001 – 2007	DHN

FONTE: UHSLC (2016)

^(*) Os dados referentes às estações que estão identificadas com (*) não se encontravam no banco de dados da UHSLC quando Dalazoana (2006) desenvolveu sua pesquisa.

⁽¹⁾ O período de dados refere-se aos anos em que os dados receberam controle de qualidade.

⁽²⁾ *Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement em Coopération*, atual IRD *Institut de Recherche pour le Développement*.

^(3, 4) Laboratório de Pesquisas Atmosféricas e Oceânicas/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

⁽⁵⁾ *National Ocean Service*

⁽⁶⁾ Diretoria de Hidrografia e Navegação

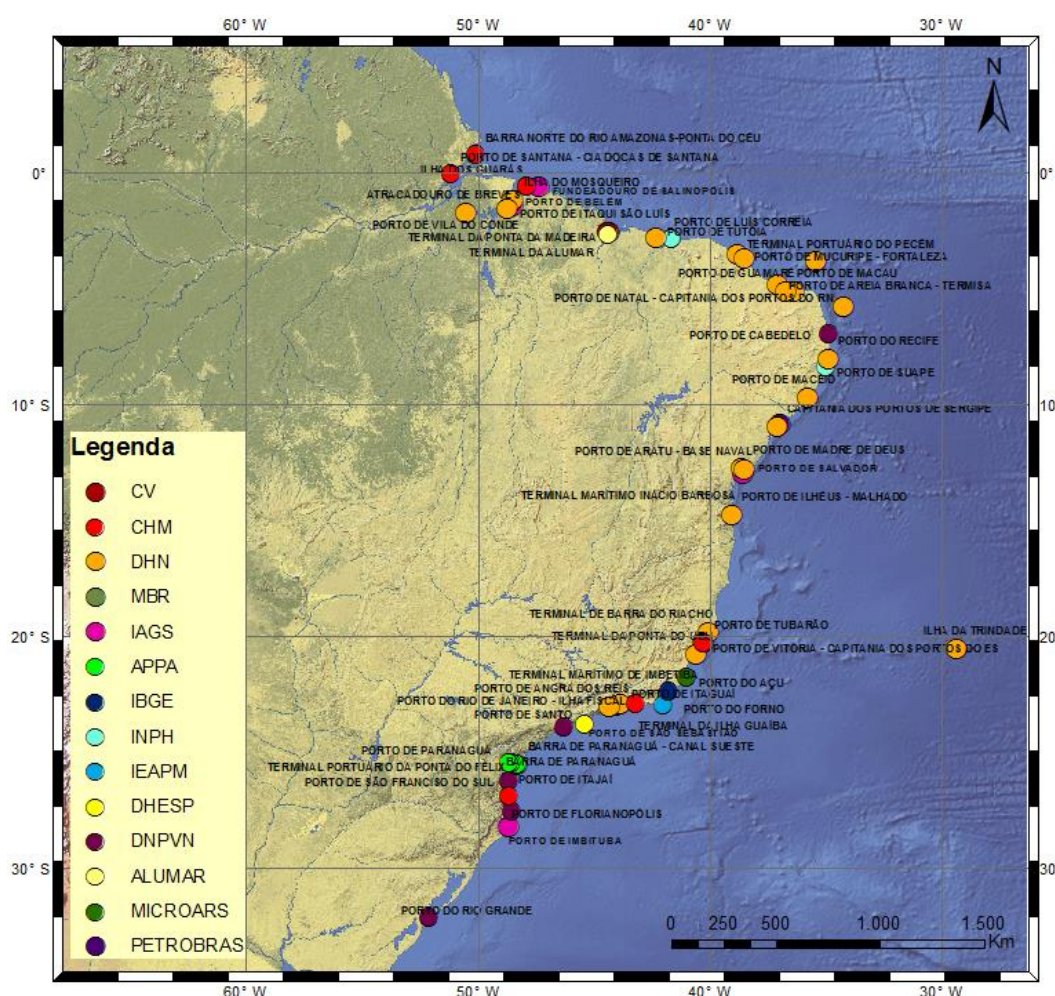
^(7, 8) Instituto Oceanográfico/Universidade de São Paulo.

⁽⁹⁾ INPE/Observação da Terra

A DHN da Marinha do Brasil é a principal responsável atualmente, pela manutenção das observações do nível do mar no país, fornecendo previsões de maré para os principais portos do país, com a cooperação das autoridades portuárias brasileiras além de outras instituições que colaboram com o fornecimento das observações de marés. As TMs são de 44 portos nacionais, 2 ilhas oceânicas, 2 ilhas costeiras, 4 barras, 1 fundeadouro e 1 atracadouro da costa do Brasil e 1 fundeadouro na Estação Antártica Comandante Ferraz. Mais informações na página da DHN (2016).

A Figura 23 mostra a localização dos portos na costa brasileira, na legenda destacam-se as instituições que colaboram com a DHN no fornecimento de observações do nível do mar. No Apêndice 1 há uma tabela que contém os detalhes em relação aos Portos brasileiros, destacando as instituições fornecedoras dos dados, o nome do porto, a Unidade Federativa (UF), latitude e longitude aproximadas.

FIGURA 23 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PORTOS BRASILEIROS COM DADOS NA DHN



As instituições que colaboram com o fornecimento das informações de observações junto a DHN são: Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), IAGS, Companhia Vale (CV), Consórcio de Alumínio do Maranhão (ALUMAR), Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH), DNPVN, Microars Engenharia: Portos e Hidrovias, Eficiência Energética e Telecomunicações (MICROARS), IBGE (também responsável pela RMPG), Instituto de Estudo do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), Minerações Brasileiras Reunidas (MBR), Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo (DHESP) e Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA). Algumas dessas instituições realizam observações do nível do mar com peculiaridades relacionadas a atividades portuárias, construção de vias navegáveis fluviais e marítimas, e atividades de engenharia.

3.3 DADOS DISPONÍVEIS PARA ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DA CROSTA NO DVB-I: GNSS

Um dos papéis da RBMC é que desde 1997, vem contribuindo para a densificação regional da rede ITRF e do IGS, garantindo uma melhor precisão dos produtos do IGS, por exemplo, efemérides precisas sobre o território brasileiro. O BD da RBMC disponibiliza os dados das estações, que em sua maioria fazem parte da Rede de Referência SIRGAS-CON, cujas coordenadas finais têm precisão da ordem de ± 5 mm, configurando-se como uma das redes mais precisas do mundo (IBGE, 2016c). Vale ressaltar que as estações da RBMC são componentes importantes na composição dos resultados finais dos levantamentos a elas referenciados. A Figura 24 apresenta a distribuição espacial das estações ativas da RBMC, além de destacar outras redes das quais estas também fazem parte. Destacam-se entre estas, realização do IGB08 que oficialmente substituiu o IGS08 a partir da semana GPS 1709 (IGSCB, 2016), a realização atual do IGS, bem como a Rede Incra de Bases Comunitárias do GNSS (RIBaC) e o Projeto IGS *Tide Gauge Benchmark Monitoring Pilot Project* (TIGA) que tem as estações GNSS junto a marégrafos vinculadas as séries temporais em ITRF e a Rede de Referência SIRGAS-CON.

No Apêndice 2 há uma tabela que contém os detalhes em relação às estações, destacando a sigla, o nome da estação, a UF, latitude e longitude aproximadas, a data do início de operação de cada estação, além de identificar de quais redes as estações fazem parte, com um identificador na sigla. Vale ressaltar

ortométrica e *firmware*, o mesmo acontece com as estações GNSS que fazem parte da RBMC como se apresenta na Tabela que se encontra no Apêndice 3. É importante considerar as atualizações já mencionadas, pois em alguns casos, as observações podem apresentar discrepâncias, quando não é realizado o ajustamento correto ou quando não se considera alguns fatores tais como: tipo de antena; altura da antena; tipo do receptor, entre outros.

As observações obtidas da RBMC estão em arquivos diários em formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), correspondendo às seções iniciadas às 00h01min e encerradas às 24h00min, tendo um intervalo de rastreio de 15 segundos. Os equipamentos instalados nas estações da RBMC permitem facilidades operacionais e a disponibilização de serviços, para a realização de levantamentos em tempo real, através da técnica RTK (*Real Time Kinematic*) ou DGPS (*Differential GPS*) e o cálculo das correções WADGPS (*Wide Area Differential GPS*).

No método tradicional, as correções em tempo real eram transmitidas via rádio UHF, os quais são instalados juntamente com o receptor. Sendo que com o advento da tecnologia o IBGE tem trabalhado com o NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) o qual foi desenvolvido para substituir o link via rádio. O NTRIP é um protocolo *HTTP* que envia as correções DGPS e RTK via internet através dos protocolos *http* e *ftp*. Ele é composto de três componentes: NTRIP Service, NTRIP Caster e NTRIP Client, como estes não são primordiais a esta pesquisa, deixa-se como referência para minuciosos detalhes Costa et al. (2008), assim como IBGE (2016d) e IBGE (2016e).

3.4 DADOS PARA ANÁLISE DO NÍVEL MÉDIO DO MAR NO DVB-I: ALTIMETRIA POR SATÉLITES

A necessidade do monitoramento do nível do mar, visando detectar sua variabilidade temporal e espacial, vem sendo estudada para análise dos efeitos climáticos e implicações em áreas costeiras. No âmbito da Geodésia, utilizam-se dados provenientes do monitoramento do nível do mar em um sentido muito mais amplo do que a realização da referência para as redes verticais clássicas. Tal é o caso do estudo dos efeitos de variação do NM na rotação da Terra realizado pelo *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS)* (IERS, 2016b).

A determinação da taxa média global da variabilidade do nível do mar a longo prazo é complicada devido ao pequeno número de marégrafos que possuem séries temporais bastantes longas, além de sua maior concentração no hemisfério norte (HOUSTON e DEAN, 2011). A altimetria por satélites fornece uma série temporal de dados mais curta (cerca de 26 anos até o presente) quando comparada com a série temporal de dados provenientes de marégrafos (existem séries de mais de 150 anos de observações). Mesmo assim, a altimetria por satélite é uma técnica promissora para a detecção de variações no NMM porque o faz de forma independente de movimentos crustais e com grande cobertura espacial. A Tabela 8 apresenta as características principais das missões altimétricas utilizadas nesta pesquisa. Dentre elas destacam-se: que as missões altimétricas foram conduzidas por distintas agências, apresentam datas de lançamento distintas e assim como data de término, permitindo a integração das séries para aumento da resolução espacial e temporal.

TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DO NMM NO DVB-I

Continua

MISSÃO	ERS-1	T/P	ERS-2	GFO	JASON-1	ENVISA T-1	JASON-2	SARAL
Lançamento	07/91	09/92	05/95	02/98	12/01	03/02	07/08	03/13
Término	03/96	10/05	09/07	09/08	09/12	10/12	02/15	em operação
Duração (meses)	56	157	148	127	129	127	55	-
Altitude média (km)	781,1	1336	781,1	784,2	1336	781,1	1336	781
Inclinação (°)	98,54	66,04	98,54	108,04	66,04	98,55	66,04	98,54
Área de recobrimento em latitude (°)	± 81,46	± 66,04	±81,46	± 71,96	± 66,04	± 81,45	± 95	±99,5
Ciclo orbital (dias)⁽¹⁾	⁽¹⁾ 3/35/168	9,9156	35	17	9,9156	35	9,9156	35
Separação entre as linhas de observação (km)⁽²⁾	929/80/16	315	80	165	315	80	315	80
Frequência (GHz)	13,5	13,6/5,3	13,5	13,5	13,575/5,3	13,575/3,2	13,575/5,3	35,75
Ruído do altímetro (cm)	5	2	3	3,5	1,5	2	1,5	3,9
Radiômetro	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Conclusão

MISSÃO	ERS-1	T/P	ERS-2	GFO	JASON-1	ENVISA T-1	JASON-2	SARAL
Número de Frequências	2	2	3	2	3	2	3	3
Determinação da órbita	⁽³⁾ SLR, (PRARE)	SLR, GPS, DORIS	SLR, PRARE ⁴	⁽³⁾ SLR, (GPS)	SLR, GPS, DORIS	SLR, DORIS	SLR, GPS, DORIS	DORIS e LRA ⁽⁵⁾
Operado	ESA	CNES e NASA	ESA	US-NAVY	CNES ⁽⁶⁾ e NASA	ESA	CNES e NASA	CNES, ISRO ⁽⁷⁾

FONTE: Adaptado de Seeber (2003); Dalazoana (2006); NASA (2016); ISRO (2016); EOPORTAL (2016)

⁽¹⁾ Para satisfazer as necessidades de algumas missões, a separação entre as linhas de observação foram alteradas diversas vezes durante o ciclo orbital.

⁽²⁾ A indicação de separação entre linhas de observação refere-se à separação no Equador entre as projeções do plano orbital do satélite sobre a superfície terrestre (DALAZOANA, 2006).

⁽³⁾ As técnicas de determinação da órbita dos satélites altímetros que foram colocadas entre parênteses não foram utilizadas durante todo o período das missões devido às falhas em seus sistemas.

⁽⁴⁾ *Precise Range And Range-Rate Equipment*

⁽⁵⁾ *Laser Retroreflector Array*

⁽⁶⁾ *Centre National d' Etudes Spatiales;*

⁽⁷⁾ *Indian Space Research Organization*

A determinação da órbita dos satélites altímetros consiste na determinação da posição tridimensional do centro de massa do satélite a intervalos regulares de tempo. As órbitas das missões mais antigas foram melhoradas retroativamente, via ajustamentos, para isto foram utilizados valores melhorados de parâmetros físicos, principalmente do campo da gravidade e provenientes da melhoria na definição e realização de referenciais específicos (DALAZOANA, 2006). Na Tabela 9 apresentam-se o período de lançamento e o término das missões, as precisões da medida dos altímetros, as precisões orbitais na época de cada missão e as determinadas retroativamente para os satélites altímetros. Destaca-se que são apresentadas as precisões apenas para as missões utilizadas nesta pesquisa.

As observações são necessárias para a determinação precisa da órbita dos satélites. Vários tipos de sistemas de rastreo são empregados para obter as observações precisas do movimento do satélite, sendo que cada uma possui diferentes características de medida, cobertura temporal e espacial, e níveis de precisão. Os principais sistemas de rastreo que dão suporte às missões da altimetria por satélites utilizadas nesta pesquisa são apresentados na Tabela 10.

TABELA 9 - PRECISÕES DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DO NMM
NO DVB-I

SATÉLITE	PERÍODO DA MISSÃO	PRECISÃO DA MEDIDA (cm)	PRECISÃO DA ÓRBITA (cm)	PRECISÃO ATUAL DA ÓRBITA (cm)
ERS-1	07/1991-03/1996	3	8-15	5
T/P	09/1992 – 10/2005	2	2-3	-
ERS-2	05/1995 – 09/2007	3	7-8	5 ou melhor
GFO	02/1998 – 09/2008	4	5-7	5 ou melhor
JASON-1	12/2001 – 09/2012	2	2-3	-
ENVISAT-1	03/2002 – 10/2012	3	4-7	-
JASON-2	07/2008 – 02/2015	1,5	1-3	-
SARAL	03/2013 – Em operação	0,8	2,5	-

FONTE: Adaptado de Dalazoana (2006); NASA (2016); ISRO (2016); EOPORTAL (2016)

TABELA 10 - TÉCNICA DE RASTREIO E SUAS PRECISÕES

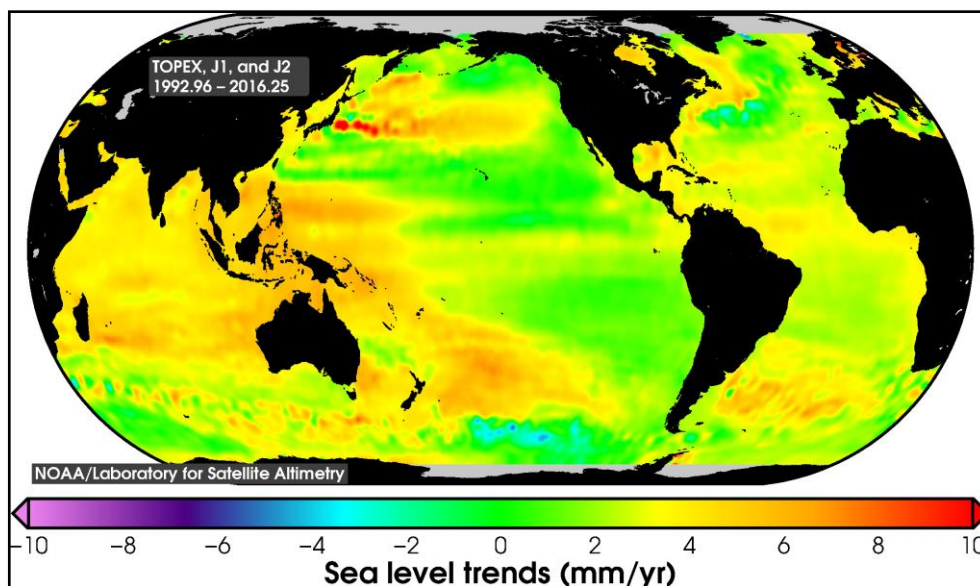
TÉCNICA	MEDIDA	PRECISÃO	MISSÕES
SLR	Distância	0,5 – 5 cm	Exceto Saral
PRARE	Distância, Taxa de variação da distância	2,5 cm; 0,25 mm/s	ERS-2
DORIS	Taxa de Variação da Distância	0,5 mm/s	T/P, JASON-1, ENVISAT-1, JASON-2, SARAL
GNSS	Fase	0,2 – 0,5 cm	T/P, GFO, JASON-1, JASON-2
LRA	Raios de Laser	1,6 arco de segundo	SARAL
ALTÍMETRO	Altitude nos pontos de <i>crossover</i>	5 cm	Todas

FONTE: Adaptado de Chelton et al. (2001); NASA (2016); ISRO (2016); EOPORTAL (2016)

A Figura 25 é um exemplo dos resultados da tendência que ocorre no nível do mar, estabelecida com base em medições realizadas por missões de satélite altímetros (TOPEX, JASON-1 e JASON-2) de 1992,96 a 2016,25, ou seja, de 09/1992 a 03/2016. A Figura 26 apresenta a série temporal com as estimativas da elevação do nível do mar obtidas dos satélites altímetros, T/P, JASON-1 e JASON-2. Essas medições de altimetria foram realizadas entre 66°S e 66°N, onde se aplicou a

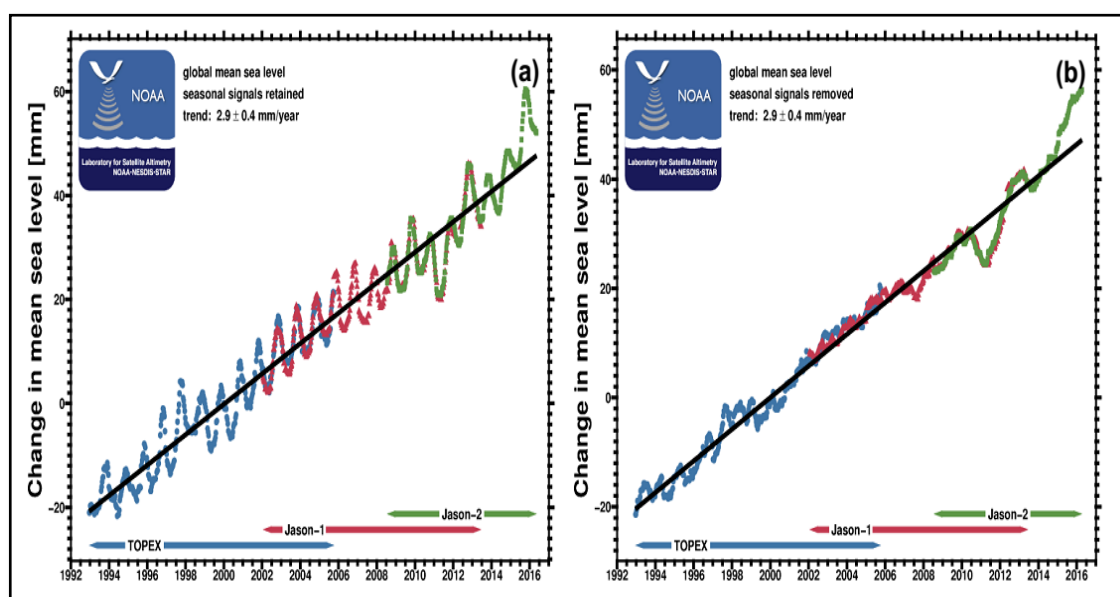
denominada correção do fenômeno do barômetro inverso nas séries temporais. Mas para as estimativas de elevação do nível do mar apresentadas, não foi incluído os efeitos de ajuste isostático glacial sobre o geoide, onde a média global é modelada para variar de 0,2 a 0,5 mm/ano (NOAA, 2016).

FIGURA 25 - TENDÊNCIAS DO NÍVEL DO MAR: 1992-2016, A PARTIR DE MISSÕES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES: NOAA



FONTE: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lisa/SeaLevelRise/slr/map_txj1j2_spectrum.png)

FIGURA 26 - NÍVEL MÉDIO DO MAR GLOBAL A PARTIR DE T/P, JASON-1 E JASON-2



FONTE: NOAA (http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lisa/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries_global.php)

Na Figura 26 (a) pode-se observar que se tem uma série original sem a aplicação de um filtro, na Figura 26 (b) pode-se observar que foi aplicado um filtro linear para remoção dos sinais sazonais. Após aplicação do filtro pode-se obter a tendência sem influência de sazonalidade, conforme possibilitado pelas equações (47) e (48).

$$\bar{h} = \frac{n * \sum_{i=1}^n (t_i * y_i) - \sum_{i=1}^n t_i * \sum_{i=1}^n y_i}{n * \sum_{i=1}^n (t_i^2) - \sum_{i=1}^n (t_i)^2} \quad (47)$$

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i) - \bar{h} * \sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (48)$$

Das equações (47) e (48), tem-se que y_i é o valor das observações da variável registrada, t_i é o período associado a y_i e n é o número de períodos da série. Com estas equações pode-se projetar nos próximos anos a evolução do NMM relativo, considerando-se a tendência encontrada. Nas equações (47) e (48) tem-se \bar{h} o coeficiente angular da reta e \bar{r} o coeficiente linear, onde a tendência é dada pela equação (49):

$$T = \bar{h} * t + \bar{r} \quad (49)$$

Onde T é a tendência e t é o tempo.

Ressalta-se que a variabilidade temporal da superfície do mar obtida por dados da altimetria por satélites tem a característica de não sofrer influência dos movimentos verticais da crosta, tal como, é o caso das observações maregráficas que são afetadas pelos movimentos da crosta em seu local de instalação. Com a utilização da altimetria por satélites obtêm-se informações importantes, como por exemplo, para a geração de modelos climáticos globais, variações temporais do nível do mar, estimativas de variações volumétricas e de massa oceânica.

A integração da técnica de altimetria por satélites e dados de marégrafos pode ser empregada no monitoramento das variações e da evolução do NMM desde que acompanhados do monitoramento de deslocamentos da crosta. Tal é a

possibilidade advinda da utilização de séries temporais de dados de marégrafos associados com o GNSS. Assim, é possibilitada a detecção de movimentos da crosta necessários para obtenção de variações absolutas do NMM. Estes são certamente pressupostos para a modelagem do DVB-I de forma a evitar-se que movimentos verticais da crosta sejam interpretados como variações do NMM.

Destaca-se que a determinação das coordenadas geocêntricas a partir do processamento GNSS, o cálculo das velocidades de uma estação e as séries temporais provenientes de observações maregráficas, permitem definir o NMM em um SGR geocêntrico, obtendo valores do nível do mar em relação ao centro de massa da Terra e não relativos à estrutura na qual o marégrafo encontra-se fixo. Isto possibilita a comparação do NMM com os dados provenientes da altimetria por satélites. Possibilitando relacionar as séries temporais de nível do mar obtidas com o marégrafo com as séries de dados provenientes do emprego de modelos da altimetria por satélites.

Segundo Dalazoana e De Freitas (2006), os resultados baseados em dados maregráficos e de nivelamento, evidenciavam uma elevação no NMM no Porto de Imbituba em torno de 2 mm/ano. Estes resultados foram obtidos com integração, com base em altimetria por satélites, das séries temporais armazenadas no banco de dados do PSMSL e dados digitais de 2001 a 2004. Da Silva e De Freitas (2014), a partir de séries temporais de processamento GNSS, associadas com as séries maregráficas de 2007 a 2014, obtiveram uma elevação no NMM no Porto de Imbituba em torno de 2,4 mm/ano. Da Silva e De Freitas (2015), a partir da integração de dados de altimetria por satélites, das séries temporais armazenadas no banco de dados do PSMSL e dados maregráficos de 2006 a 2015, obtiveram uma elevação no NMM em torno de 2,05 mm/ano. Da Silva et al. (2016) obtiveram a mesma elevação que Da Silva e De Freitas (2014).

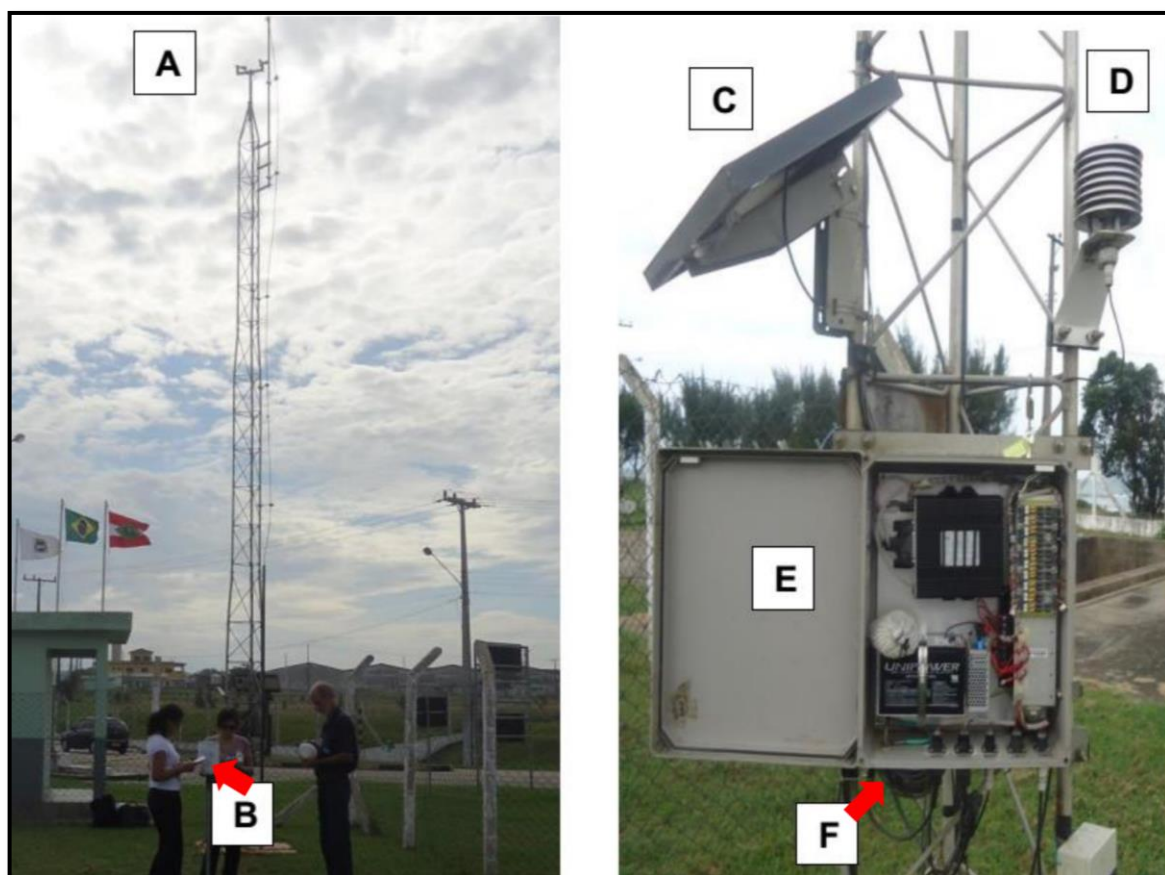
3.5 EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO DVB-I

Segundo Luz et al. (2002), em 2001 foram instalados sensores maregráficos e meteorológicos digitais, os quais possuem um intervalo de coleta de cinco minutos. Os dados da estação meteorológica são diários com as seguintes informações: hora e data da observação; quantidade de chuva; umidade e temperatura do ar; direção e

velocidade do vento; pressão atmosférica; tensão e correção da carga da bateria que mantém o sistema ativo e a temperatura interna. Em 2012, a estação ficou inoperante. Em 2016, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM) implantou em Imbituba uma plataforma de sustentação de uma estação meteorológica automática telemétrica. Os dados divulgados da estação são diários e mensais, os quais se originam da transmissão por telemetria em intervalos horários, automaticamente. As informações presentes nos dados são: radiação solar, hora de molhamento por orvalho e chuva, além dos dados citados anteriormente (CIRAM, 2016; EPAGRI, 2016).

A Figura 27 mostra a estação meteorológica implantada pelo IBGE em 2001, localizada próxima à entrada principal do Porto de Imbituba, seu funcionamento é mantido por uma bateria que é alimentada por um painel solar.

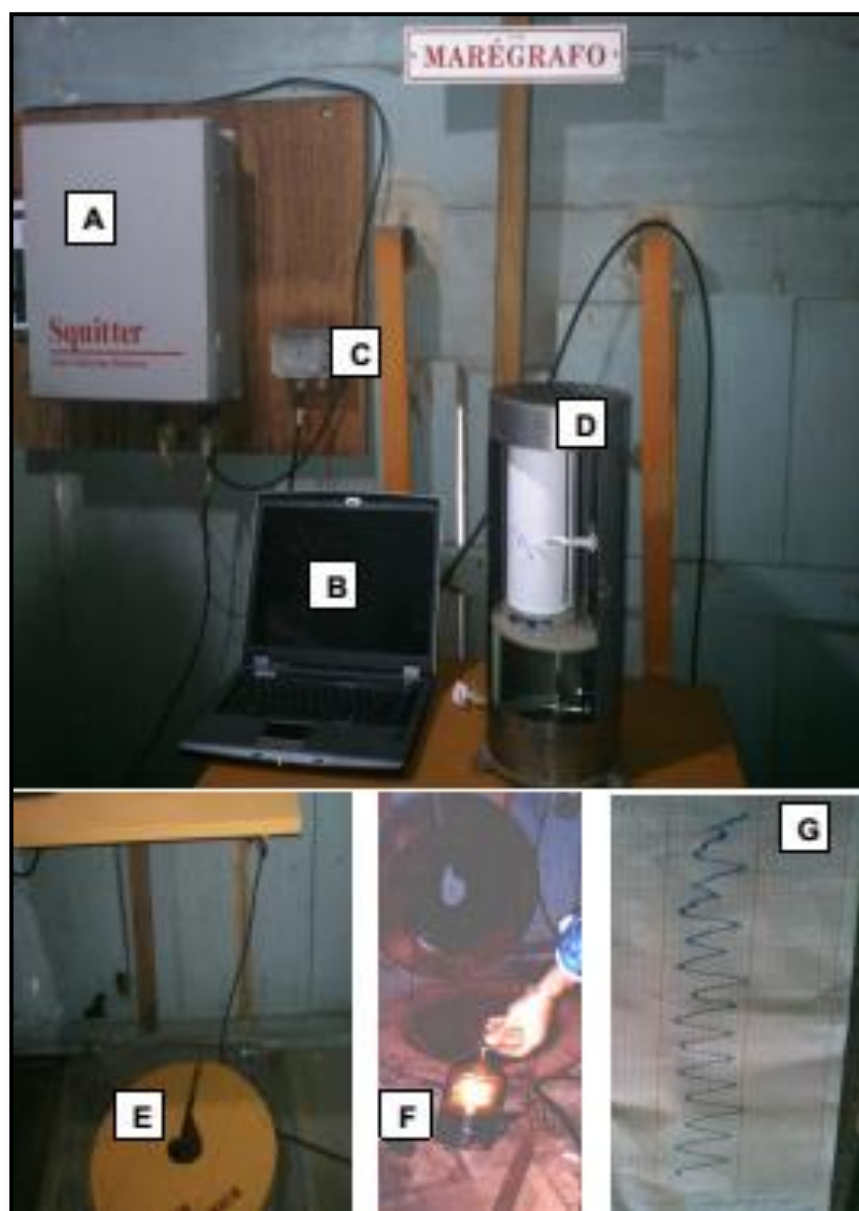
FIGURA 27 - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA IMPLANTADA EM 2001



Observações: De forma geral a estação meteorológica é composta por: A - Anemômetro, que mede a direção e a velocidade do vento. B – Pluviômetro. C – Painel Solar. D – Sensor de medição de temperatura e umidade. E – Painel de Controle. F – Sensor de pressão atmosférica.

A estação maregráfica digital também fornece arquivos diários. Segundo Dalazoana (2006), esta disponibiliza as seguintes informações: data e horário da observação, nível d'água, densidade e temperatura da água, carga da bateria, entre outras informações. A Figura 28 mostra alguns dos equipamentos e instalações da estação maregráfica, localizada sob o cais principal do Porto de Imbituba.

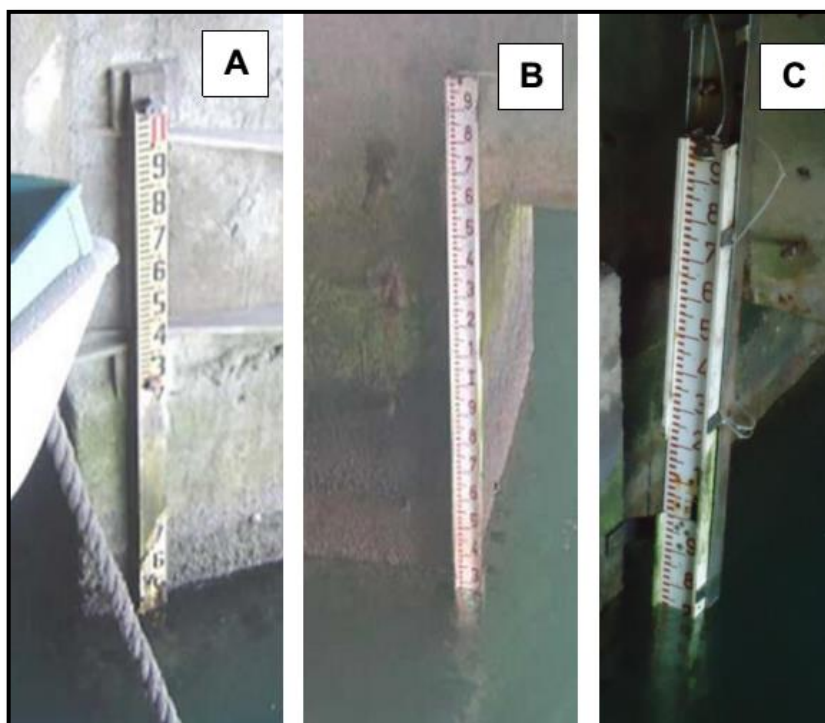
FIGURA 28 - ESTAÇÃO MAREGRÁFICA LOCALIZADA SOB O CAIS PRINCIPAL DO PORTO DE IMBITUBA



Observações: A – Painel de Controle do marégrafo digital. B – Computador utilizado para transmissão dos dados do marégrafo digital. C – Desumidificador do sensor digital do nível d'água. D – Marégrafo Analógico. E – Poço. F – Boia do marégrafo convencional, Fonte: DALAZOANA (2006). G – Maregramas obtido do marégrafo analógico.

Dalazoana (2006) apresenta o exterior do abrigo dos marégrafos digital e convencional, assim como os tubos e adicionalmente o sensor digital de nível d'água da estação maregráfica. A Figura 29 apresenta tipos de réguas de marés implantadas no porto em ordem cronológica. Vale ressaltar que as leituras das réguas são essenciais para a vinculação das observações maregráficas às RNs das estações, assim como para o nivelamento das réguas (IBGE, 2013). Adicionalmente, próximo à estação maregráfica há uma RN utilizada para controle geodésico da régua de maré e da própria estação maregráfica, essa é a RN3012X.

FIGURA 29 - RÉGUAS DE MARÉ (CRONOLOGICAMENTE)



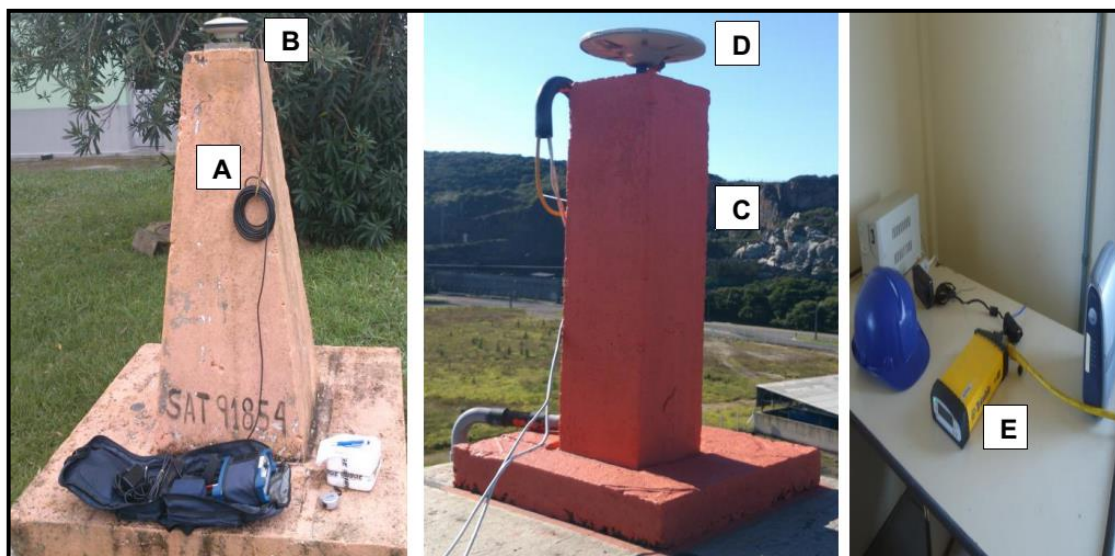
Observações: Figuras A e B, Fonte: Dalazoana (2006). A – Régua de maré antiga feita de madeira e parafusada. B – Régua de Maré instalada em 2002 feita de PVC com suporte de cabo de aço. C – Régua atual feita de PVC desliza entre um par de trilhos, içada por meio de cabo de aço atado a sua extremidade superior. Gravação feita em baixo relevo com resina (IBGE, 2013).

A Figura 30 apresenta a estação SAT - 91854, antiga estação GPS (IMBI) utilizada pra controle geodésico e a estação SAT - 94024, atual estação GPS (IMBT) que é de monitoramento contínuo, além dos equipamentos que são utilizados para mantê-la em funcionamento.

As campanhas concentradas, além de possibilitar o acompanhamento *in-loco* da estrutura de observação, permitem o estabelecimento da relação entre os

zeros, entre os níveis de referência: zero do marégrafo analógico, zero do marégrafo digital, zero das réguas maregráficas, RN3012X, SAT - 918254 (estação GPS IMBI) e SAT - 94024 (estação GNSS IMBT).

FIGURA 30 - ESTAÇÕES DA RBMC (IMBI E IMBT)



Observações: A – Estação GPS IMBI. B – Antena: colocada para controle geodésico. C – Pilar da Estação GNSS IMBT. D – Antena: armazena continuamente as observações do código e da fase das ondas portadoras. E – Receptor GNSS. Observa-se próximo ao receptor que há conexão de internet e fornecimento constante de energia elétrica.

Vale ressaltar que, distintas campanhas foram realizadas na região do DVB-I desde 1997 pelo grupo de Pesquisa “Otimização de Levantamentos Geodésicos” vinculado ao Laboratório de Referenciais Geodésicos e Altimetria por Satélites (LARAS) da UFPR com contribuições científicas com as referências já designadas no subitem 2.5. A partir destes levantamentos já foram obtidos resultados relevantes para a determinação da posição geocêntrica do DVB-I, assim como sua evolução temporal e efeitos locais relevantes.

4. ASPECTOS ACERCA DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR NO DVB-I

No presente capítulo apresentam-se os aspectos gerais das observações que possam gerar informações acerca da evolução temporal do nível do mar no DVB-I, onde são abordados os principais aspectos associados à estimativa do NMM e os resultados obtidos acerca de sua evolução temporal.

4.1 OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS CONSIDERADAS

As observações maregráficas em Imbituba são realizadas com um marégrafo mecânico e um digital. A estação maregráfica digital de Imbituba conta com sensores de pressão Druck/GE 1880 controlados por *dataloggers Squiter A1000*, que coletam e registram informações de nível d'água com intervalo de 5 minutos (IBGE, 2013). Já, os registros do sensor mecânico são contínuos. A retirada do maregramas/registro gráfico é feita de acordo com a necessidade ou em intervalos pré-estabelecidos, como por exemplo, semanal.

Em algumas situações observa-se que as séries temporais possuem leituras possivelmente anômalas ou com ausência de dados. Estes aspectos geralmente ocorrem por mudanças de equipamentos ou reposicionamento de sensores, anomalias reais no NM ou até mesmo devido o equipamento passar alguns dias até meses inativo. A Figura 31 mostra um exemplo de inatividade diária (dia 12), a série horária apresentada é do marégrafo digital de Imbituba para o mês de março de 2013. A Figura 32 mostra um exemplo de inatividade mensal do marégrafo de Imbituba para o ano de 2011.

Na Figura 31 observa-se que nos dias de 5 a 10 existiram observações anômalas, assim como nos dias 13, 18 e 19, e no dia 12 houve inatividade por problema no sensor de nível d' água, ao qual as leituras são referenciadas.

Na Figura 32 observa-se que a partir de 23/03/2011 houve uma dispersão de dados, onde a mudança visível neste gráfico é a de “nível”, ou mudança na referência das observações. Destaca-se que em uma mesma data o nível d'água varia de 1500 mm a 0 mm. Esta mudança deve-se a problema no sensor do marégrafo seguido de um período de 8 meses de inatividade.

FIGURA 31 - SÉRIE TEMPORAL DE OBSERVAÇÕES DO NÍVEL D' ÁGUA - MARÇO DE 2013

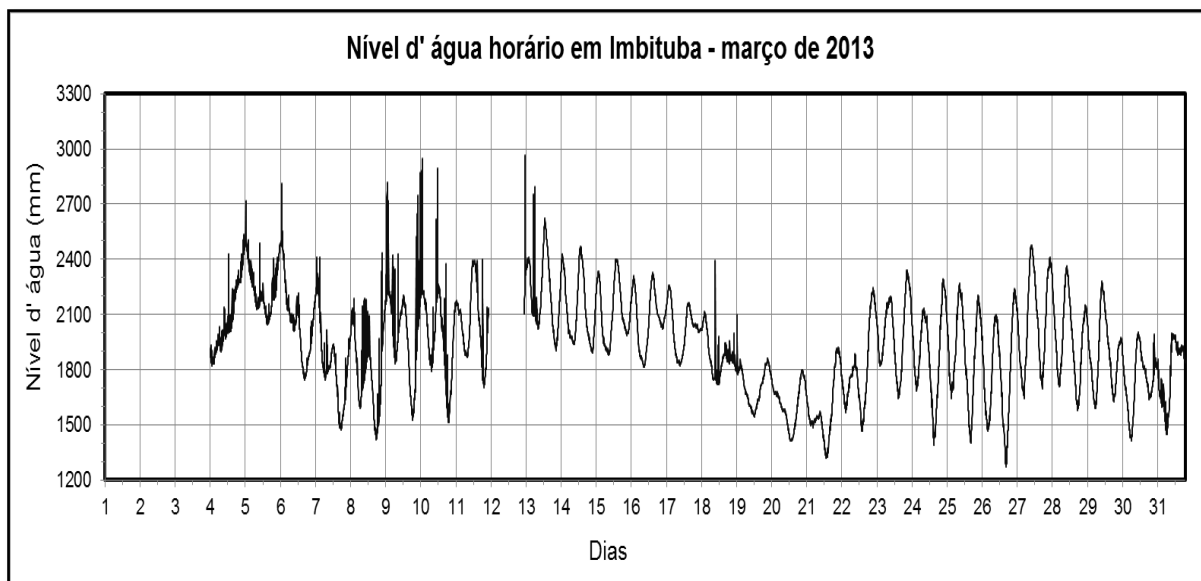
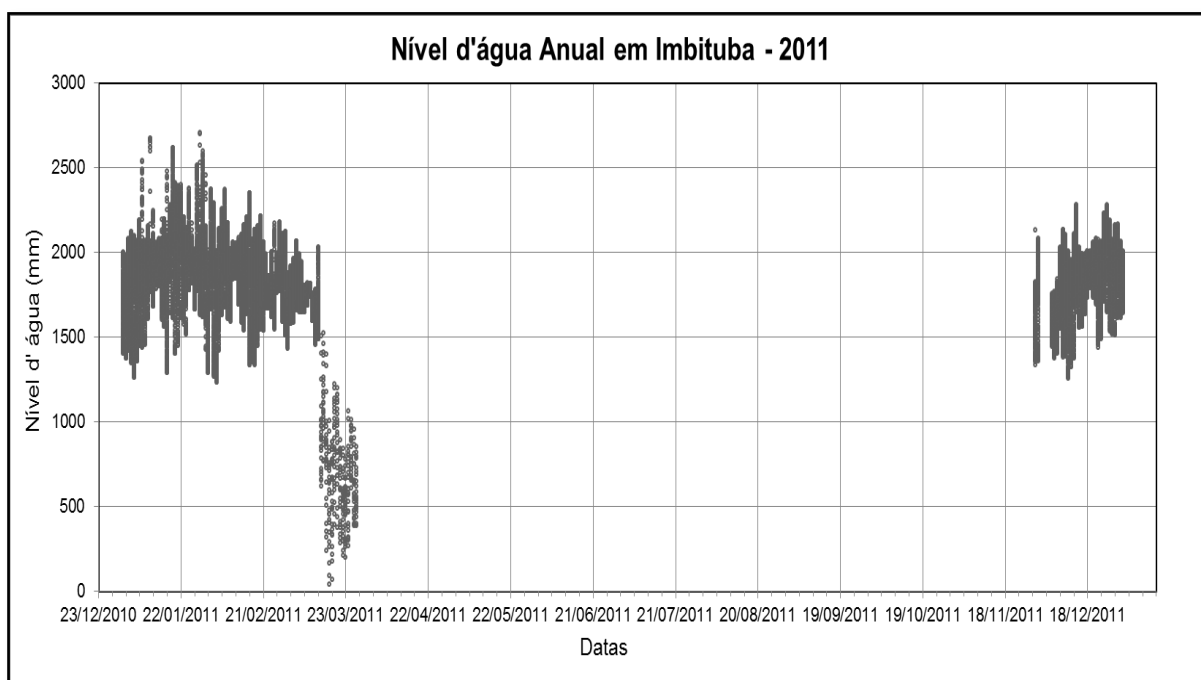


FIGURA 32 - SÉRIE TEMPORAL DE OBSERVAÇÕES DO NÍVEL D' ÁGUA ANUAL - 2011



Segundo Luz et al. (2002), nas estações maregráficas convencionais, a referência utilizada nas observações é a régua de marés. Suas leituras são necessárias para corrigir a escala dos dados registrados graficamente. No entanto, na atualidade em vista dos modernos sensores, nem sempre a régua é considerada uma referência adequada, devido sua vulnerabilidade às mudanças de sua posição. Segundo Dalazoana (2006), para se evitar que as alterações na posição da régua

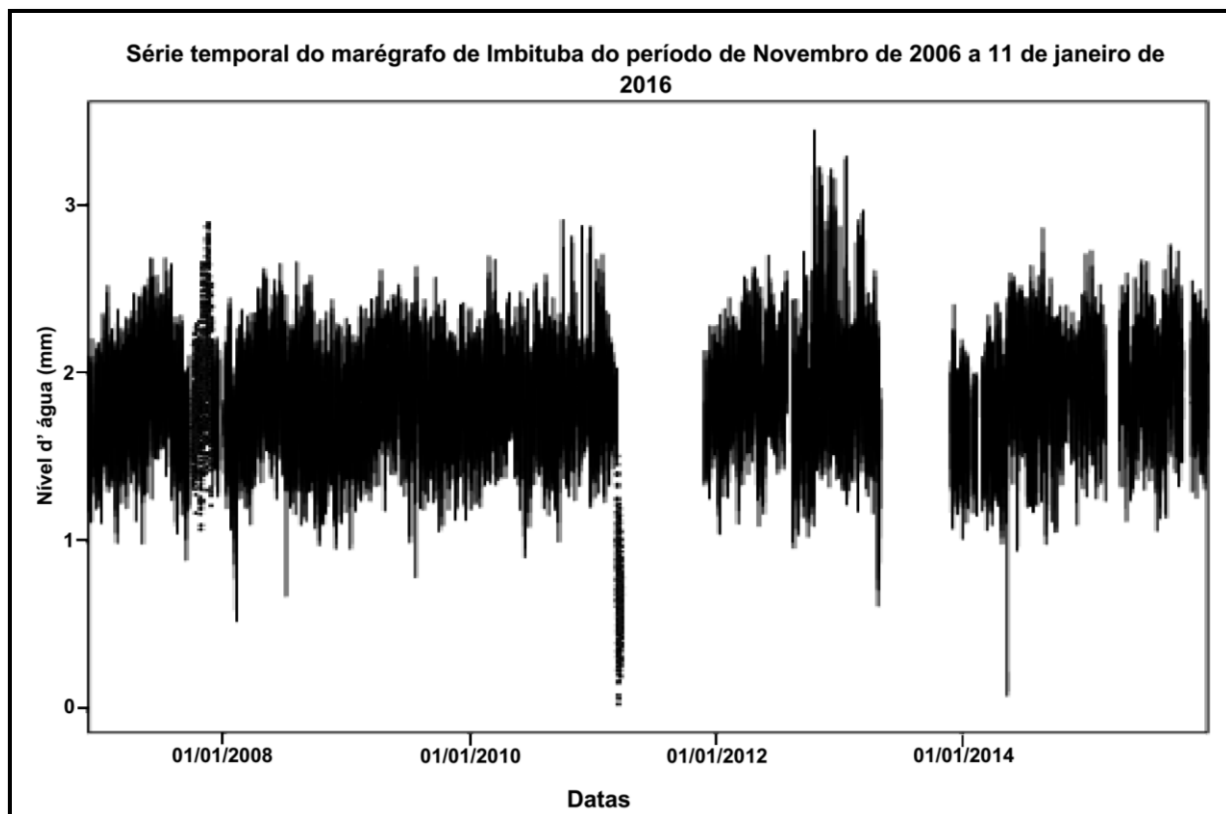
introduzam tendências irreais é necessário realizar o nivelamento periódico da régua para se gerar as devidas correções nas séries temporais adquiridas.

Para realização das análises acerca da evolução do nível do mar no DVB-I, trabalhou-se com os dados disponíveis nos sites do IBGE, UHSLC e do PSMSL. Os dados disponibilizados pelo IBGE para Imbituba são diários com amostragem a cada 5 minutos. Então foi necessário desenvolver *scripts* para leituras e concatenação dos dados. Primeiramente desenvolveu-se um *script* em *Python* para leitura dos dados. Após este processo é efetivada uma verificação de consistência e sua importação para o banco de dados desenvolvido no *MySQL*. No presente trabalho, ao importar os dados para o banco era realizado a escrita dos dados, onde se gerou dados mensais, bimestrais, trimestrais, quadrimestrais, semestrais e anuais. Os dados disponibilizados pela UHSLC para Imbituba são diários com amostragem a cada 1 hora, mas também disponibilizam dados diários com amostragem diária. Na sequência serão mostradas as séries geradas por dados mensais e anuais, porque como também está se trabalhando com os dados do PSMSL, no banco de dados deste, há disponibilidade apenas de dados mensais e anuais.

O período de dados utilizados do BD do IBGE é de novembro de 2006 a 11 de janeiro de 2016, totalizando 754022 observações a cada 5 minutos, como se apresenta na Figura 33, estas foram plotadas no TSOFT, o qual é utilizado para análise de séries temporais e marés terrestres. A geração da série temporal auxilia na identificação de *jumps* e *outliers* nas observações, além de auxiliar na identificação de períodos com ausência de dados e possíveis mudanças na referência do sensor. A partir da série temporal analisou-se o período que não apresentava *jumps*, para que as observações do período fossem utilizadas para realizar a análise harmônica, a qual será discutida no subitem 4.2.

O período de dados utilizados do BD da UHSLC é de 22 de agosto de 2001 a 31 de dezembro de 2007, totalizando 48319 observações horárias, este BD também disponibiliza médias mensais as quais já passaram por um controle de qualidade. Em relação ao PSMSL trabalhou-se com o período de dados de setembro de 1948 a dezembro de 1968. Vale ressaltar que para se trabalhar com as três séries integradas é necessário identificar qual é a referência de leitura dos distintos sensores, marégrafo convencional, marégrafo digital e régua de maré, e assim pode-se estabelecer a diferença entre eles, possibilitando interligar as séries do nível do mar.

FIGURA 33 - SÉRIE TEMPORAL, COM OBSERVAÇÕES A CADA 5 MINUTOS, DO MARÉGRAFO DIGITAL DE IMBITUBA DO PERÍODO DE NOVEMBRO DE 2006 A 11 DE JANEIRO DE 2016



Analisando a Figura 33, observa-se que o período de 2008 a 2010 apresenta uma série densificada e sem a presença de grandes anomalias nas observações.

4.1.1 Verificação do Marégrafo de Imbituba – Teste Van De Castelee

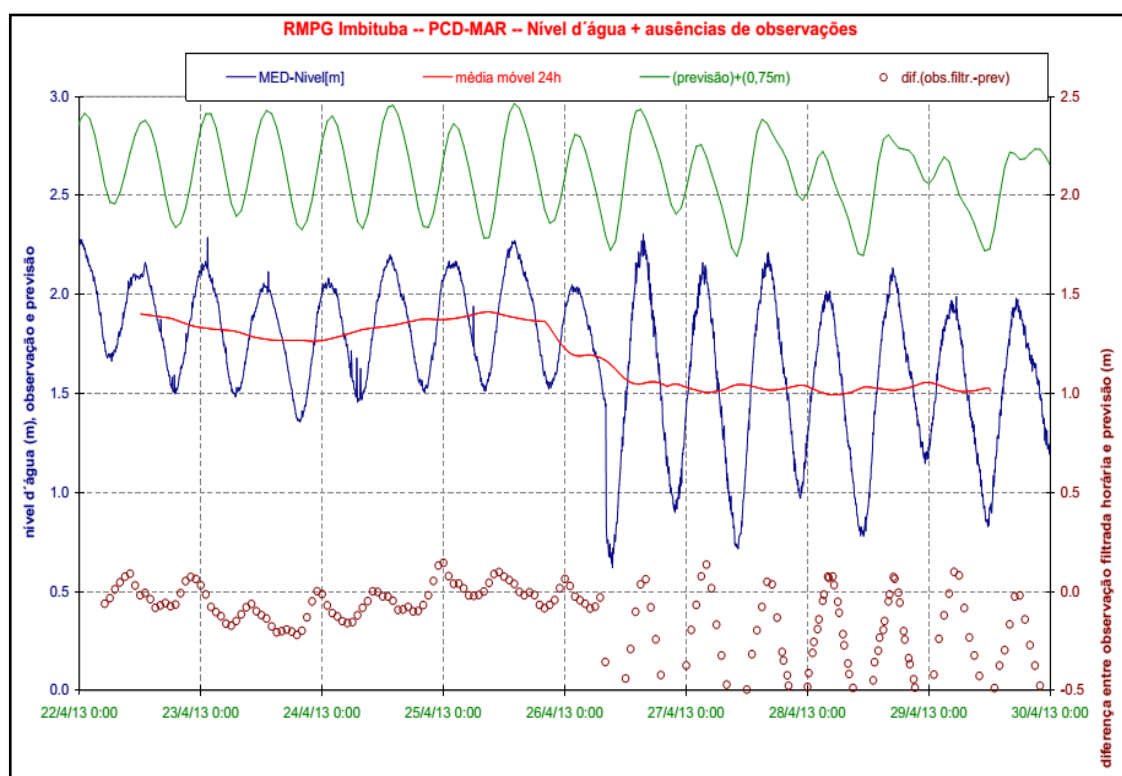
Uma forma de verificação qualitativa do marégrafo é a partir do Teste *Van de Castelee*. Em Dalazoana (2006) podem ser vistas as características qualitativas de um marégrafo quando realizado o referido teste. Segundo o *Service Hydrographique et Océanographique de la Marine* (SHOM, 2015), o teste é realizado para comparação, durante um ciclo completo de maré, entre leituras realizadas simultaneamente a cada quinze minutos no marégrafo e em um dispositivo de medida independente, a régua de maré.

Segundo Dalazoana et al. (2005b), o teste permite determinar a relação entre os distintos referenciais instrumentais (“zeros” da régua e marégrafos), uma vez que as diferenças entre as leituras de diferentes instrumentos fornecem também

a diferença na referência destas leituras. Estes testes devem ser realizados nos dias ou próximos dos dias de mudança na fase da lua, na Lua Nova ou na Lua Cheia, quando ocorrem as chamadas marés de sizígia, com as maiores amplitudes, facilitando a realização das leituras.

As Figuras 34 e 35 apresentam as análises do nível d' água e se há ausência de observações, a partir dos testes de *Van de Casteele* realizados em abril de 2013 e agosto de 2014, respectivamente. A Figura 36 apresenta os resultados obtidos no teste de *Van de Casteele* realizado em maio de 2014. Em Dalazoana (2006), são apresentados os resultados obtidos do teste em outubro de 2002, junho de 2003 e fevereiro de 2005.

FIGURA 34 - ANÁLISE DO NÍVEL D'ÁGUA, OBSERVAÇÕES E PREVISÃO DO NM NO MARÉGRAFO DE IMBITUBA EM ABRIL DE 2013

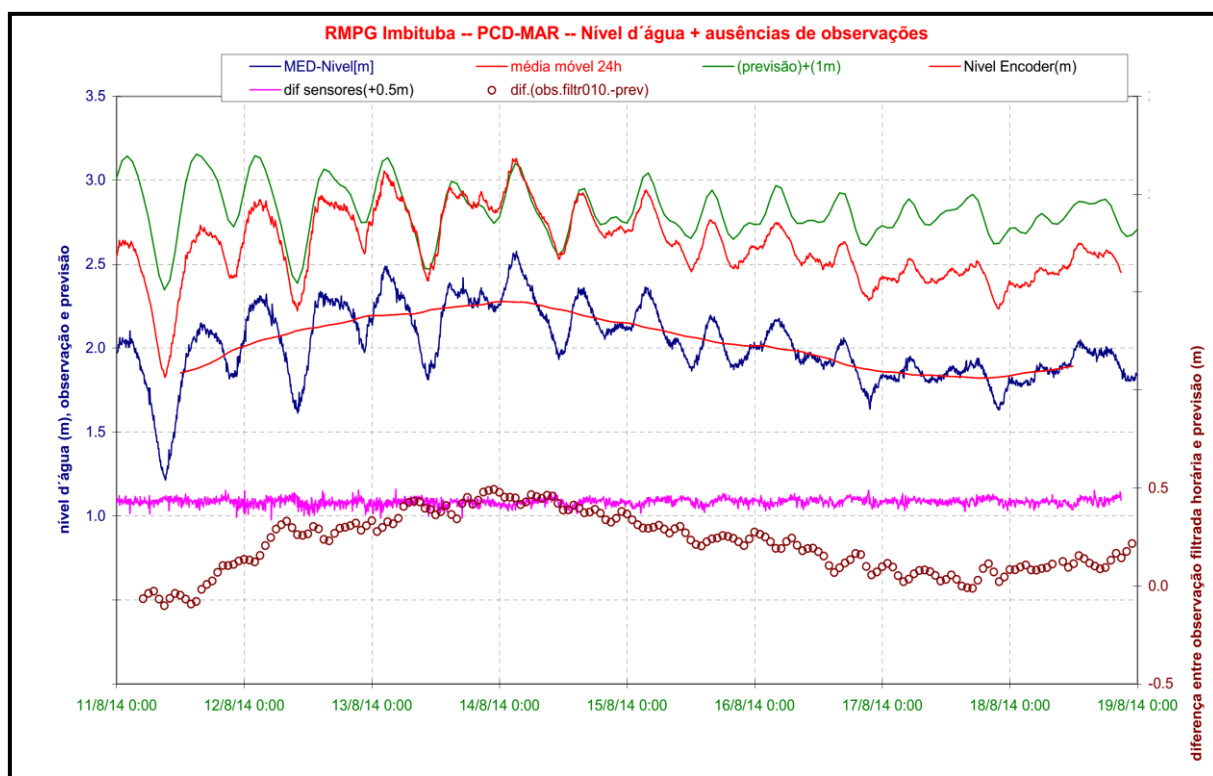


NOTA: Dados cedidos por S. Soares (IBGE)

Na Figura 34 verifica-se que as observações horárias a partir do dia 26/04/2013 começam a apresentar variações irregulares. Na medida do nível (em azul) é visível que as observações, a partir dessa data, têm um comportamento anômalo relativamente à maré predita (em verde), atingindo amplitudes muito

diferentes. A diferença (em vinho) entre a observação filtrada horária e a previsão (em verde) evidencia que o *encoder* apresenta problemas, com os dados muito dispersos, assim como nas observações da medida de nível, a série também atinge valores diferentes a partir da data citada. Diante disso, há a necessidade de correção do sensor, o que na prática foi resolvida pela substituição da ponta cônica. Vale ressaltar que na inclusão do novo sensor não se pode parar as atividades do antigo, pois para o sensor entrar em atividade é necessário um período para a realização da correlação dos dados da estação antiga com a estação nova.

FIGURA 35 - ANÁLISE DO NÍVEL D'ÁGUA, OBSERVAÇÕES E PREVISÃO DO NM NO MARÉGRAFO DE IMBITUBA EM AGOSTO DE 2014

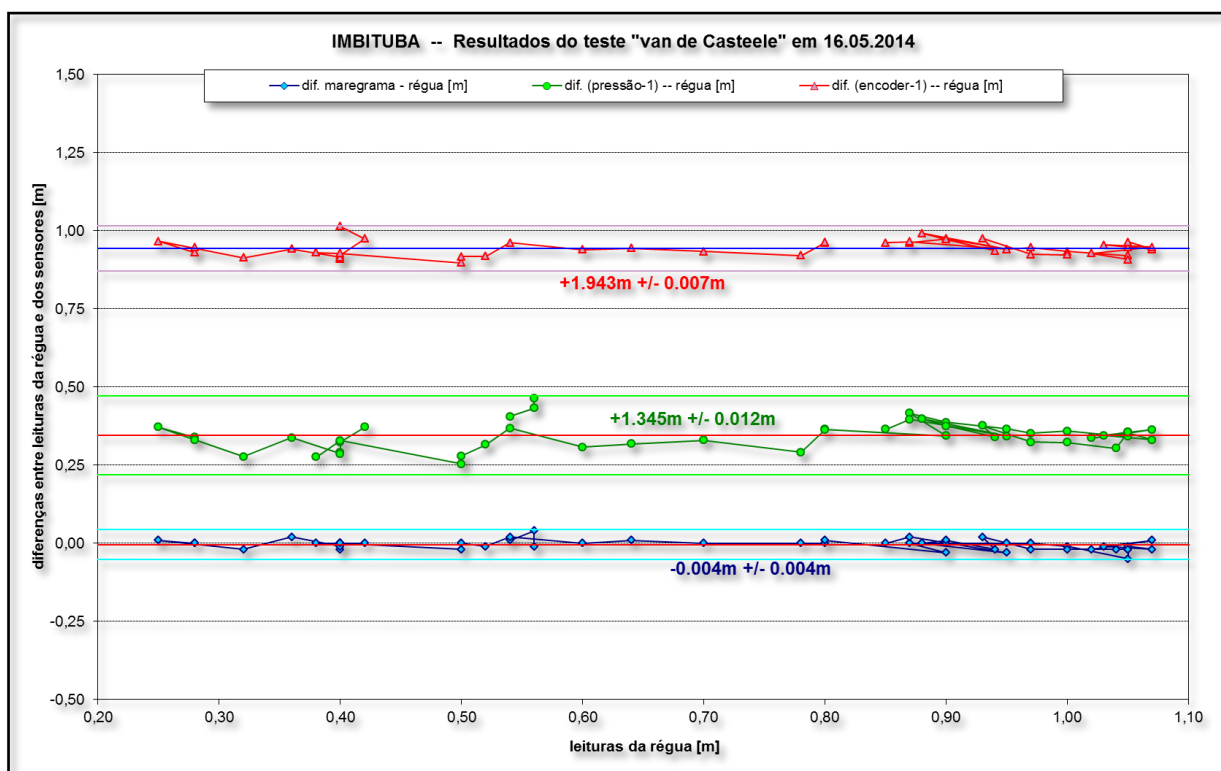


NOTA: Dados cedidos por S. Soares (IBGE)

Na Figura 35 verifica-se que as observações horárias apresentam variações regulares, ao contrário do que foi mostrado na Figura 34. Na medida do nível (em azul) é visível que as observações, a partir dessa data, têm um comportamento regular, assim como à maré predita (em verde). A diferença (em vinho) entre a observação filtrada horária e a previsão (em verde) evidencia que o *encoder* não apresenta mais problemas, assim como foi mostrado na Figura 34. Outro ponto

observado é que como o nível d' água e as observações não apresentam comportamento anômalo foi possível realizar a análise do nível do *encoder* (vermelho). Vale destacar que em 2013 não foi possível realizar a diferença entre os sensores devido à dispersão evidenciada nos dados das séries temporais. Em contrapartida em 2014 foi realizada a diferença entre os sensores, como se apresenta na Figura 36.

FIGURA 36 - RESULTADOS DO TESTE “VAN DE CASTEELE” EM 16 DE MAIO DE 2014



NOTA: Dados cedidos por S. Soares (IBGE)

Observa-se na Figura 36 que o desnível entre os “zeros” do sensor eletrônico (*encoder*) e da régua é de 1,943 m com desvio padrão de 0,007 m. O desnível entre os “zeros” do sensor de pressão e da régua é de 1,345 m com desvio padrão de 0,012 m. Em relação ao desnível entre os “zeros” dos maregramas e da régua obtém-se -0,004 m com desvio padrão de 0,004 m. Valores de desníveis que são negativos devem-se ao fato do zero da régua estar em uma posição mais baixa em relação ao zero dos outros sensores. Nas Tabelas 11, 12 e 13 apresentam-se os desníveis obtidos em anos anteriores e o ano de 2014, quando foi realizado o Teste de *Van de Casteele* em relação a cada sensor. Dalazoana (2006) utilizou os dados

do teste de 2003, pois era o teste que apresentava melhor situação para o mareógrafo digital. O conhecimento da diferença entre a referência de cada instrumento contribuiu para a interligação das séries temporais de observação do nível do mar derivadas de cada instrumento.

TABELA 11 - DESNÍVEL ENTRE OS “ZEROS” DO ENCODER E DA RÉGUA MAREGRÁFICA

Data de Aferição	Desnível (m)	Desvio Padrão (m)
16/05/2014	1,943	0,007

Nota: Dados cedido por S. Soares (IBGE)

TABELA 12 - DESNÍVEL ENTRE OS “ZEROS” DO MAREGRAMA E DA RÉGUA MAREGRÁFICA

Data de Aferição	Desnível (m)	Desvio Padrão (m)
04/10/2002	0,012	0,023
30/06/2003	-0,026	0,024
10/02/2005	-0,049	0,015
26/02/2010	0,010	0,021
16/05/2014	-0,04	0,004

Nota: Dados cedido por S. Soares (IBGE)

TABELA 13 - DESNÍVEL ENTRE OS “ZEROS” DO SENSOR DE PRESSÃO E DA RÉGUA MAREGRÁFICA

Data de Aferição	Desnível (m)	Desvio Padrão (m)
04/10/2002	1,190	0,082
30/06/2003	1,213	0,038
10/02/2005	1,215	0,075
26/02/2010	1,238	0,042
16/05/2014	1,345	0,012

Nota: Dados cedido por S. Soares (IBGE)

Nota: A régua foi reposicionada em 2014 após a instalação de ponta cônica no tubo de calmaria.

Observa-se que na Tabela 12 há apenas desníveis entre os “zeros” do *encoder* e da régua maregráfica em 2014. Isto se deve ao fato deste ser o sensor novo instalado depois dos problemas apresentados em 2013 e a necessidade de substituição do sensor. Na Tabela 13 observa-se que em 2003, 2005 e 2014 o zero da régua estava mais baixo do que em relação ao zero dos maregramas. Na Tabela 13 observa-se que ao longo do tempo os desníveis entre o sensor de pressão e o da régua foram aumentando. Os resultados obtidos na Tabela 13 serão utilizados no

subitem 4.4, uma vez que o conhecimento da diferença entre a referência de cada instrumento é fundamental para a interligação de séries temporais de observação do NM advinda de distintos instrumentos.

4.2 ANÁLISE HARMÔNICA DA MARÉ

A análise harmônica da maré é um método matemático para o processamento de dados amostrados de maregramas e possibilita a determinação das constantes harmônicas H (amplitudes) e G (ângulos de fases) das várias componentes (FRANCO, 1997, p. 155). As componentes harmônicas caracterizam a maré de um determinado local e, por isso, é necessário o estudo das constituintes a fim de analisar as oscilações existentes. Na Tabela 14 mostram-se as principais componentes harmônicas, o período e a amplitude que se deve considerar para se utilizar com o objetivo de analisar o espectro da maré no domínio das frequências e no domínio do tempo. Existem mais componentes harmônicas do que as apresentadas nesta pesquisa, estas podem ser vistas em Pugh (1996, p. 116); Torge (2001, p. 89) e no Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHia® 9.0, 2016).

TABELA 14 - CARACTERÍSTICAS DAS PRINCIPAIS COMPONENTES HARMÔNICAS

			Continua
Componentes	Período (dias/horas solares)	Amplitude (cm)	
Longo Período	Sa	365 d	1,2
	Ssa	182,62 d	7,34
	MSm	32 d	-
	Mm	28 d	8,3
	MSf	15 d	0,7

Diurnas	Q_1	26,87 h	7,2
	ρ_1	26,72 h	1,4
	O_1	25,82 h	37,7

	P_1	24,07 h	17,5
	S_1	24,0 h	-
	K_1	23,93 h	53,0

			Conclusão
Componentes	Período (dias/horas solares)	Amplitude (cm)	
Semidiurnas	N ₂	12,66 h	17,4

	M ₂	12,42 h	90,8

	S ₂	12,00 h	42,2
	R ₂	11,98 h	0,4
	K ₂	11,97 h	11,5

Ter-diurnas	M ₃	8,28 h	1,2

	M ₄	6,21 h	41,7

FONTE: Adaptado do SisBaHia® 9.0 (2016)

Para determinação das constantes harmônicas foi utilizado o programa SLP64, desenvolvido e documentado pelo *Joint Archive for Sea Level*, uma colaboração entre a UHSLC e o *US National Oceanographic Data Center*. Para comparação e validação das constantes harmônicas obtidas da série temporal maregráfica de Imbituba utilizou-se o SisBaHia® 9.0 (da COPPE - Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia). Destaca-se que para obtenção das constituintes utilizou-se as médias diárias obtidas das séries temporais horárias.

A análise espectral da maré no domínio das frequências e no domínio do tempo é feita com o auxílio da metodologia do *Periodograma* apresentada por Morettin (1999), Morettin e Tolo (2004). A análise espectral no domínio das frequências permite ter uma avaliação da distribuição relativa de energia nas distintas frequências. Na Figura 37 apresenta-se o espectro da maré no domínio das frequências em Imbituba para as componentes diurnas. E na Figura 38 apresenta-se o espectro da maré no domínio das frequências para as componentes semidiurnas. Destacaram-se nas séries as componentes harmônicas mais relevantes, obtidas através dos dados de observações maregráficas, inseridos no SLP64. As características das constantes harmônicas das principais componentes de maré dessas séries foram apresentadas na Tabela 14. Com a análise do período de 2006

a 2016 evidenciou-se que não se devem utilizar observações maregráficas com curto período de tempo, pois dependendo do grupo de componentes predominantes em cada uma das bandas muitas vezes são insuficientes para caracterizar a maré local.

FIGURA 37 - ESPECTRO DA MARÉ EM IMBITUBA NO DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS DAS COMPONENTES DIURNAS

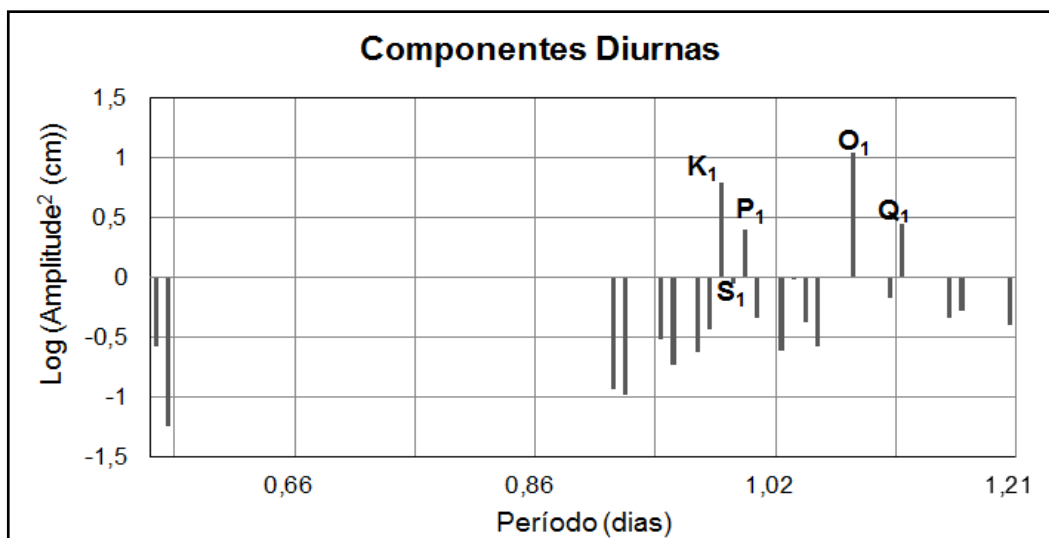
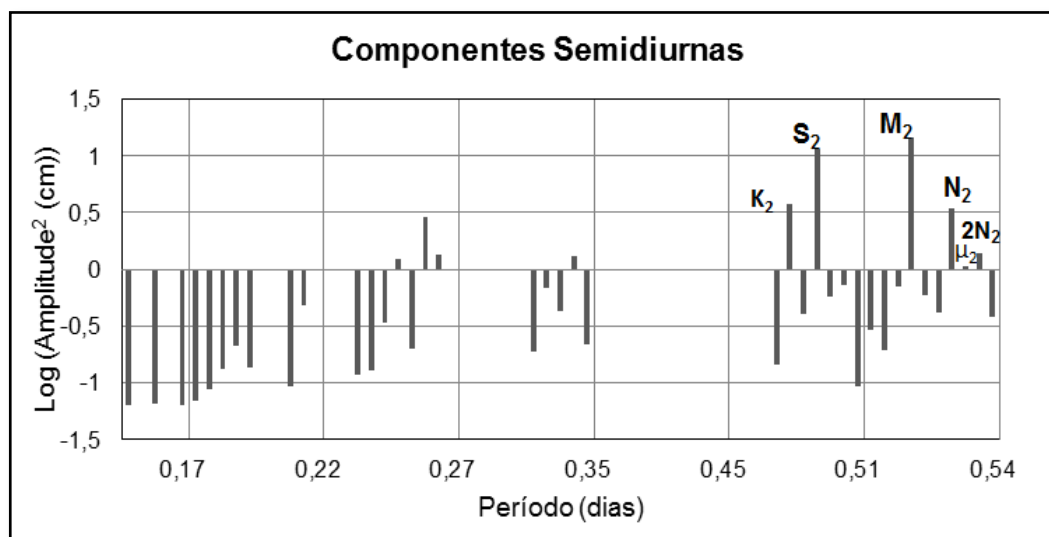


FIGURA 38 - ESPECTRO DA MARÉ EM IMBITUBA NO DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS DAS COMPONENTES SEMIDIURNAS



Observa-se nas Figuras 37 e 38 que nos espectros da altura da maré de Imbituba, os períodos predominantes são das componentes diurnas e semidiurnas,

pois estas apresentam maiores amplitudes ao longo do tempo. Observa-se na Figura 37 que a distribuição relativa de energias encontra-se mais concentrada no período de 1 dia ou seja 24 horas. No período menor que 0,86 dias não há muita concentração de energia das componentes. Assim como na Figura 37, na Figura 38 também há um período de maior concentração de energia, destaca-se que o período próximo das 12 horas (0,5 dia) apresenta uma maior distribuição e concentração de energia.

A possibilidade de separação de componentes harmônicas dentro de uma das bandas (diurna ou semidiurna) é condicionada pela diferença de período entre duas ondas da mesma banda. Ou seja, quanto tempo demora para a onda de menor período cumprir um ciclo completo a mais que a de maior período. Na prática, se aceita a metade deste intervalo de tempo para a separação de duas ondas. Por exemplo, para separar-se efetivamente S_2 de K_2 , de acordo com a tabela 14, necessita-se efetivamente de um período de observação mínimo de cerca de 100 dias.

Para se estudar o espectro no domínio temporal, utilizou-se a Transformada Rápida de Fourier (FFT - *Fast Fourier Transform*). Vale ressaltar que para utilização da FFT, o número de dados da série temporal deve ser uma potência de 2. Na aplicação da FFT pode surgir o efeito de contaminação (*leakage effect*) entre diferentes componentes espectrais separadas nas análises ou serem introduzidas componentes espectrais sem significado. Quando este erro surge, pode-se observar um espalhamento da energia das frequências existentes no sinal para outras e o aparecimento de frequências espúrias, como pode ser visto na Figura 39. Este efeito pode ser reduzido, quando se tem o número de observações como potência de 2. Assim, o procedimento usual é o de adicionar zeros na série temporal para que o número de observações se torne uma potência de 2.

Na Figura 39 a qual não possuía um número inteiro de ciclos de sinal (número de observações igual à potência de 2), houve espalhamento de energia das frequências existentes, em contrapartida na Figura 40, a qual possuía um número de observação igual à potência de 2, pois se completou com zeros para se ter uma série relativamente completa, não houve espalhamento das frequências, apresentando diferenças em relação a série apresentada na Figura 39.

Comparando a Figura 39 com a Figura 40 pode-se verificar que a série com 11 dados de observações faltantes tem amplitude distinta da série com as

observações completas. É preciso que se observe se há intervalos regulares, ou seja, as observações têm que ser uma potência de 2, caso haja períodos com dados faltantes, estes são completados com zeros sem prejuízo nos resultados das análises.

FIGURA 39 - ESPECTRO DA MARÉ DE IMBITUBA DE 2008 À QUAL FOI RETIRADA OS ÚLTIMOS 8 DADOS DE OBSERVAÇÕES

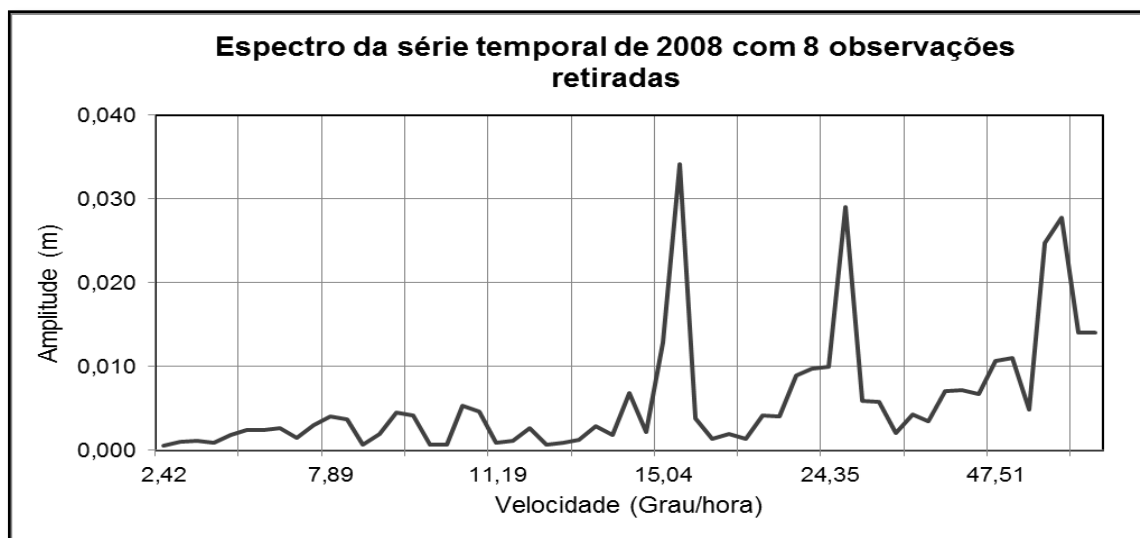
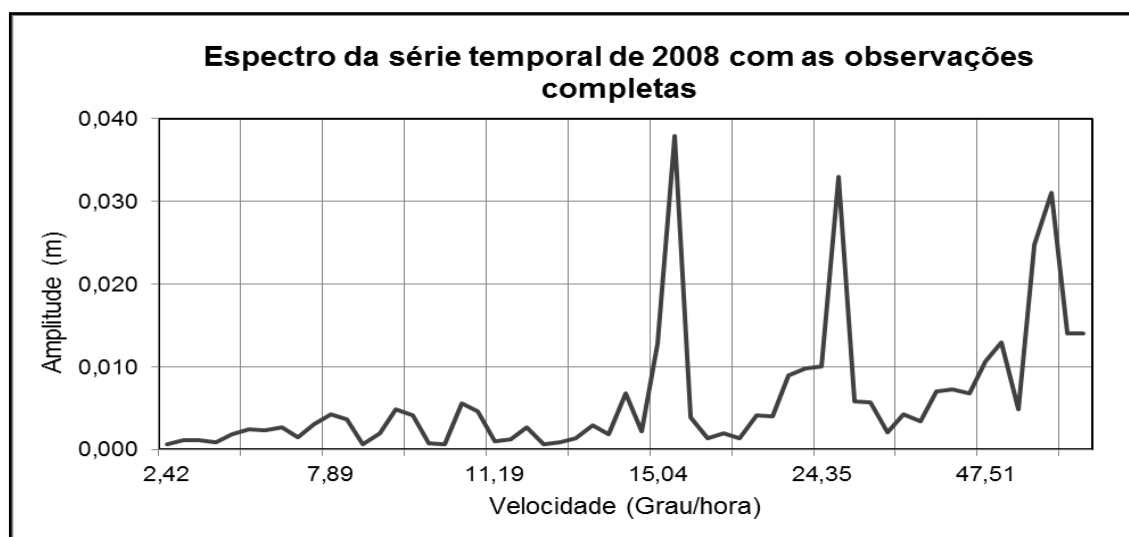


FIGURA 40 - ESPECTRO DA MARÉ DE IMBITUBA DE 2008 À QUAL POSSUI AS OBSERVAÇÕES COMPLETAS



A análise harmônica da maré permite extrair as amplitudes e as fases das componentes harmônicas diurnas e semidiurnas separáveis em função da duração

das séries temporais analisadas. Das ondas separáveis em Imbituba foram consideradas as que possuem amplitudes relevantes para as análises e que serão utilizadas para o cálculo das correções da carga atmosférica e oceânica e para correção da série dos dados provenientes da altimetria por satélite (estas correções serão discutidas nos capítulos 5 e 6). O período considerado das séries temporais de nível do mar para análise das principais constituintes harmônicas é de 2006 a 2015, como foi apresentado na Figura 33. Mas devido o ano de 2008 não apresentar *jumps*, este foi utilizado para determinar as principais componentes harmônicas de maré em Imbituba, como apresentado na Tabela 15.

TABELA 15 - PRINCIPAIS COMPONENTES HARMÔNICAS DA MARÉ EM IMBITUBA

Constantes	H(m)	G (graus)
M₂	0,134	57,1
S₂	0,103	55,55
N₂	0,036	134,86
K₂	0,032	39,32
K₁	0,058	124,96
O₁	0,109	71,42
P₁	0,021	121,84
Q₁	0,027	54,97
MF	0,018	237,82
Mm	0,022	330,96
SSA	0,044	110,13
S₁	0,0154	344,44
2 N₂	0,0153	122,56
μ₂	0,0086	73,37
M₄	0,0243	346,95

Destaca-se que as componentes foram obtidas através do SLP64, gerando 68 componentes. Utilizaram-se 8784 observações com uma média geral de 1832,1 mm e o desvio padrão de 261,1 mm. Observa-se na Tabela 15 que se compararmos os valores das componentes obtidos, a constante M₂ uma componente semidiurna foi a que apresentou maior valor de amplitude, como já esperado, pois esta tem influência da Lua, sendo a principal componente semidiurna de maré. A constante O₁ uma componente diurna apresenta o segundo maior valor de amplitude. Se compararmos as constantes M₂ e O₁, por exemplo, com componentes longas e ter-

diurnas observa-se que elas apresentam o ângulo da fase menor do que as constantes M_m e M_4 , respectivamente.

A partir dos resultados obtidos da Tabela 15 pode-se realizar a caracterização da maré, pois sua caracterização em um dado local, segundo Foreman (1977) é obtida pelo cálculo da relação de amplitude de algumas das maiores componentes harmônicas, a saber, M_2 , S_2 , K_1 e O_1 . A relação é chamada número de forma (DIETRICH, 1963) e é definida pela equação (50), (DEFANT, 1961):

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (50)$$

Da equação (50) pode-se classificar temporalmente a maré como mostra a Tabela 16:

TABELA 16 - CLASSIFICAÇÃO DA MARÉ

Maré	Intervalo
Semidiurna	$0 \leq F \leq 0,25$
Mista, principalmente semidiurna	$0,25 < F \leq 1,5$
Mista principalmente diurna	$1,5 < F \leq 3,0$
Diurna	$F > 3,0$

A partir das constantes harmônicas, utilizando o número de forma F calculado a partir da equação (50) e a classificação vista na Tabela 16, caracterizou-se a maré de Imbituba como uma maré predominantemente mista principalmente semidiurna, pois apresenta o número de forma igual a 0,52.

Com os resultados obtidos das constantes harmônicas diurnas e semidiurnas, pode-se obter a amplitude máxima de sizígia e amplitude da quadratura. Segundo Miyao e Harari (1989), a amplitude máxima da maré semidiurna com contribuição diurna, na sizígia, é estimada pela equação (51), onde se considera que as quatro principais componentes estejam em fase.

$$H_M = (M_2 + S_2) + (K_1 + O_1) \quad (51)$$

Quando as quatro principais componentes estão em oposição à fase, a correspondente da amplitude máxima, na quadratura é estimada pela equação (52):

$$H_{M_Q} = (M_2 - S_2) + (O_1 - K_1) \quad (52)$$

Analisando o período de 2006 a 2016 observou-se que a amplitude máxima da maré de sizígia em Imbituba atingiu 0,404 cm em fase, em contrapartida a amplitude da quadratura da maré atingiu 0,082 cm em oposição à fase. Vale destacar que os resultados obtidos são coerentes com as observações maregráficas e as previsões.

4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS MAREGRÁFICOS

Para se obter séries de dados horários, os dados amostrados em intervalos menores devem ser filtrados. Um filtro numérico é usualmente aplicado em séries temporais com o objetivo de separar dentro do domínio do tempo, ruídos ou interferências, para separar baixas e altas frequências e frequências específicas no domínio da série, podem-se destacar três tipos de filtros:

- Passa-alta: deixa passar componentes com frequências altas e atenua componentes com frequências baixas;
- Passa-baixa: atenua componentes com frequências altas e deixa passar componentes com frequências baixas;
- Passa-banda: é uma combinação dos filtros passa-alta e passa-baixa em que se pode definir uma frequência de corte inferior e outra superior.

Na realização de filtragem geralmente visa-se a geração de valores horários, diários ou mensais do nível do mar. Quando se visa à determinação do nível médio recorre-se a intervalos de amostragem relevantes aos estudos. Por exemplo, um valor médio mensal pode ser obtido pela promédia ou média simples de valores médios diários ou diretamente a partir de processo de filtragem. Segundo Caldwell (2014), os valores médios diários podem ser obtidos usando uma operação de filtragem em dois passos: no primeiro, as componentes diurnas e semidiurnas são

removidas dos registros horários diários, no segundo passo um filtro de 119 pontos, centrado ao meio dia, disponível no aplicativo SLP64 da Universidade do Havaí, é aplicado para remover a energia de alta frequência restante.

Cabe destacar que as observações do sensor digital em Imituba, com amostragem a cada 5 minutos, são disponibilizadas em arquivos diários e como mencionadas anteriormente no subitem 4.1 os dados foram organizados em arquivos mensais visando ser mais fácil sua manipulação. Estas observações foram filtradas com um filtro passa-baixa, simétrico e centrado no valor inteiro da hora, visando obter valores horários de nível d'água, de acordo com a equação (53), Pugh (1987, p. 416):

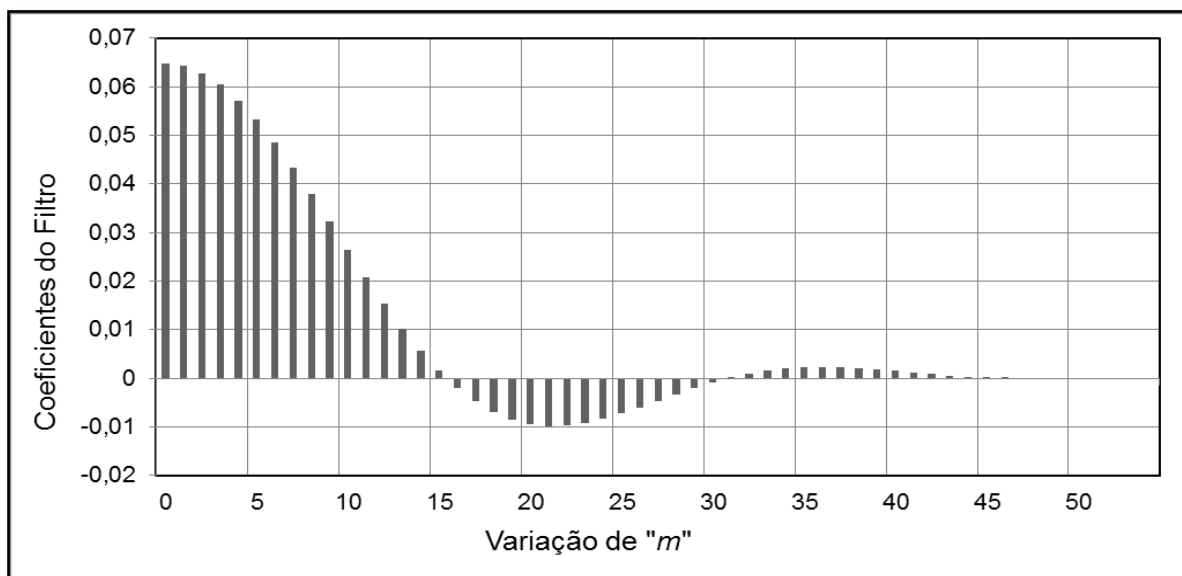
$$X_F(t) = F_0 X(t) + \sum_{m=1}^{54} F_m [X(t+i) + X(t-i)] \quad (53)$$

Na equação (53), t é o tempo em relação ao nível d'água do valor inteiro da hora; $X(t)$ é o valor observado no tempo t ; para as observações realizadas a cada 5 minutos m varia de 1 até 54, F_m é o coeficiente do filtro, como apresenta-se na Tabela 17 e para melhor visualização do seu comportamento na Figura 41; e $i = 5, 10, 15, 20, \dots, 270$ minutos, ou seja i varia a cada 5 minutos até 4,5 horas.

TABELA 17 - COEFICIENTES DO FILTRO F_m

F_m	F_m	F_m	F_m	F_m
$F_0 = 0,0648148$	$F_{11} = 0,0208063$	$F_{22} = -0,0097074$	$F_{33} = 0,0015716$	$F_{44} = 0,0003568$
$F_1 = 0,0643225$	$F_{12} = 0,0153661$	$F_{23} = -0,0091818$	$F_{34} = 0,0019984$	$F_{45} = 0,0001662$
$F_2 = 0,0628604$	$F_{13} = 0,0102800$	$F_{24} = -0,0083247$	$F_{35} = 0,0022398$	$F_{46} = 0,0000294$
$F_3 = 0,0604728$	$F_{14} = 0,0056529$	$F_{25} = -0,0072233$	$F_{36} = 0,0023148$	$F_{47} = -0,0000560$
$F_4 = 0,0572315$	$F_{15} = 0,0015685$	$F_{26} = -0,0059642$	$F_{37} = 0,0022492$	$F_{48} = -0,0000970$
$F_5 = 0,0532331$	$F_{16} = -0,0019217$	$F_{27} = -0,0046296$	$F_{38} = 0,0020729$	$F_{49} = -0,0001032$
$F_6 = 0,0485954$	$F_{17} = -0,0047544$	$F_{28} = -0,0032942$	$F_{39} = 0,0018178$	$F_{50} = -0,0000862$
$F_7 = 0,0434525$	$F_{18} = -0,0069445$	$F_{29} = -0,0020225$	$F_{40} = 0,0015155$	$F_{51} = -0,0000578$
$F_8 = 0,0379505$	$F_{19} = -0,0084938$	$F_{30} = -0,0008672$	$F_{41} = 0,0011954$	$F_{52} = -0,0000288$
$F_9 = 0,0322412$	$F_{20} = -0,0094346$	$F_{31} = 0,0001321$	$F_{42} = 0,0008830$	$F_{53} = -0,0000077$
$F_{10} = 0,0264773$	$F_{21} = -0,0098173$	$F_{32} = 0,0009493$	$F_{43} = 0,0005986$	$F_{54} = 0,0000000$

FONTE: Pugh (1987, p. 419)

FIGURA 41 - COEFICIENTES DO FILTRO F_m 

FONTE: Adaptado de Pugh (1987, p. 419)

Para realização da filtragem utiliza-se 54 observações anteriores e 54 observações posteriores às observações realizadas nos valores inteiros da hora. O filtro é estendido de $(t - 4,5 \text{ horas})$ a $(t + 4,5 \text{ horas})$. A equação (53) pode ser reescrita na equação (54), tomando como exemplo o cálculo do nível d'água para as 12:00.

$$X_F(12:00) = F_0 X(12:00) + F_1 [X(12:05) + X(11:55)] + F_2 [X(12:10) + X(11:50)] + \dots + F_{54} [X(16:30) + X(7:30)] \quad (54)$$

Para aplicação do filtro desenvolveu-se *scripts* em *Python*. Após a filtragem utilizando a equação (54), desenvolveu-se também, *scripts* em *Python* para obtenção das médias diárias, mensais e anuais simples. Adicionalmente calculou-se a Mínima (Min), Máxima (Máx), Variância (Var), Desvio Padrão (DP) e Raiz Média Quadrada (RMS - *Root Medium Square*) das observações obtidas.

Na Tabela 18 apresenta-se a análise estatística da precisão das observações do marégrafo do DVB-I provenientes da RMPG do período de novembro de 2006 a janeiro de 2016, antes da filtragem dos dados e a análise estatística após a filtragem dos dados.

TABELA 18 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VALORES MÉDIOS MENSAIS ANTES E APÓS A FILTRAGEM DOS DADOS DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA DO BD DO IBGE - RMPG

Precisão	Antes da Filtragem	Após a Filtragem
Média (m)	1,763	1,864
Mínima (m)	0,550	1,570
Máxima (m)	3,440	2,085
Variância (m ²)	1,202	0,012
Desvio Padrão (m)	1,096	0,109
RMS (m)	0,283	0,137

Na Tabela 18 observa-se que antes da filtragem a média mensal é 1,763 m e após a filtragem 1,860 m, havendo uma diferença de cerca de 10 cm. Em relação à mínima apresenta uma diferença de 1,02 m, enquanto para a máxima a diferença é de 1,35 m. Devido à discrepância que existe nos dados, a diferença da variância é de 1,19 m² e do desvio padrão é de 0,987 m e a diferença do RMS é de 0,146 m. Após aplicação do filtro observa-se que os dados estão menos dispersos, pois o desvio padrão após a filtragem é de aproximadamente 11 cm, enquanto antes da filtragem o desvio padrão é de 1,096 m. A aplicação de um filtro é importante para que se consiga eliminar os *outliers*.

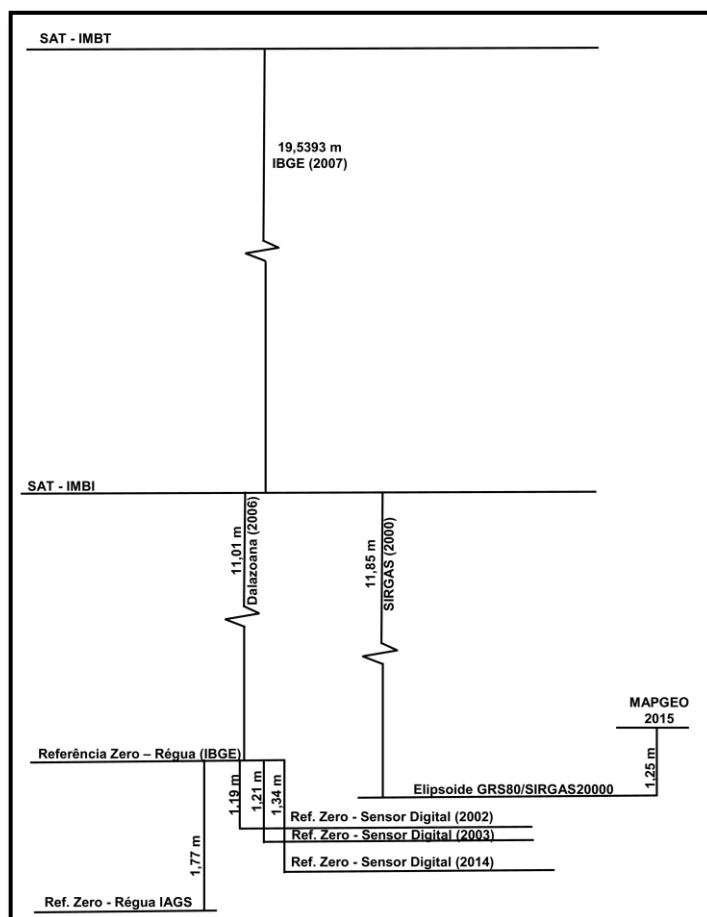
A seguir apresenta-se como se realizou a integração das séries temporais dos dados maregráficos advindas do BD da RMPG, do BD da UHSLC e do BD do PSMSL, após a filtragem e a análise verificando se há interrupções ou outros problemas nos registros. Na sequência será realizada a interpretação do coeficiente de correlação dos distintos BDs.

4.4 INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DAS OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS

Os dados obtidos do marégrafo de Imbituba disponibilizados pelo IAGS no BD do PSMSL (período de setembro de 1948 a dezembro de 1968), no BD da UHSLC (período de agosto de 2001 a dezembro de 2007) e no BD do IBGE - RMPG (período de novembro de 2006 a janeiro de 2016) são séries de observações obtidas por distintos equipamentos. Isto implica que há diferenças nas referências das leituras. Para compatibilização das séries (IAGS e RMPG) estimou-se as diferenças ou o “zero” entre a referência das mesmas a qual cada série está vinculada, Figura

42. Para compatibilização das séries (RMPG e UHSLC) utilizou-se o período que há informações em ambos os BDs. Os dados das observações utilizadas foram diários, como se apresenta na Figura 43.

FIGURA 42 - ZEROS DE REFERÊNCIA EM IMBITUBA

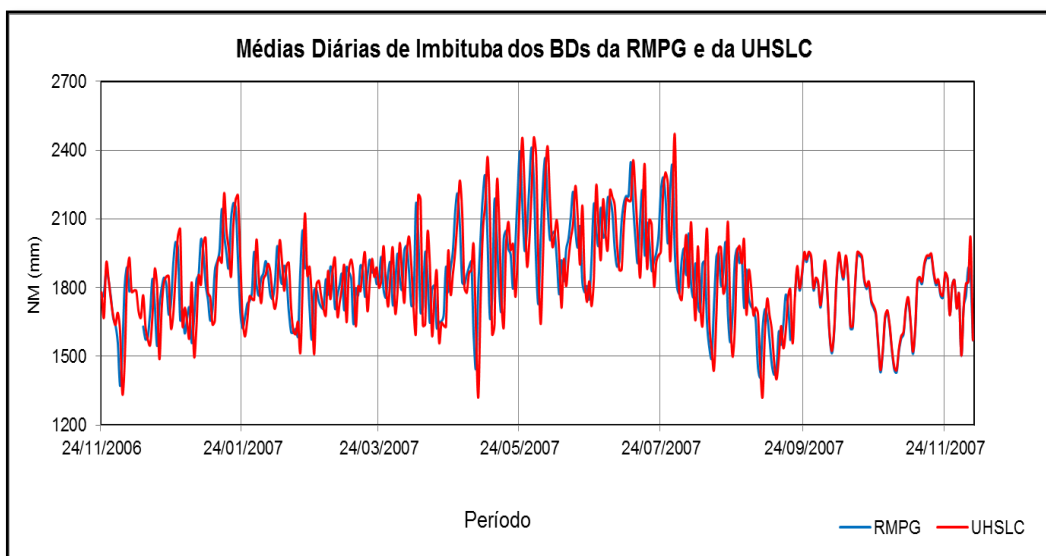


FONTE: Adaptado e atualizado de Dalazoana (2006)

Para a integração dos dados da RMPG e da UHSLC com os do PSMSL foram utilizados os dados do Teste *Van de Castele* realizado em junho de 2003 e em maio de 2014. Adicionalmente utilizou-se o trabalho realizado por Dalazoana (2006). Estes foram utilizados para estimar as diferenças na referência zero do sensor digital, régua maregráfica e do sensor analógico existentes em Imbituba. Têm-se como referências geométricas primárias os sensores nas estações GNSS (IMBI SAT - 91854) e a atual estação SIRGAS-CON (IMBT SAT - 94024). Para estimar a diferença entre a referência do sensor digital e a referência dos dados do IAGS, utilizou-se o trabalho realizado por Dalazoana (2006).

Ao analisar a série temporal obtida da RMPG e a série temporal obtida da UHSLC, evidenciou-se que as séries apresentam mesmo comportamento. Sendo assim, para integração considerou-se que o sensor digital referido aos dados da UHSLC refere-se ao sensor do IBGE de 2002 e 2003, como se apresentou na Figura 42 e se apresenta na Figura 43.

FIGURA 43 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DIÁRIAS DOS BDs DA RMPG E DA UHSLC



A Tabela 19 apresenta as análises estatísticas das médias mensais do marégrafo de Imbituba, dos dados que se encontram no BD do PSMSL, no BD da UHSLC e no BD da RMPG, após a realização da transformação para um sistema de referência comum, considerando a diferença entre o zero do sensor da IAGS - PSMSL e do zero do sensor da RMPG - IBGE.

TABELA 19 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS DAS OBSERVAÇÕES MENSAIS DO NÍVEL DO MAR PROVENIENTES DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA DO BD DO PSMSL, DO IBGE E DA UHSLC

Precisão	PSMSL	Data	IBGE	Data	UHSLC	Data
Média (m)	2,278	-	2,430	-	2,390	
Mínima (m)	2,048	Outubro/1948	2,140	Maio/2013	2,150	Julho/2007
Máxima (m)	2,505	Maio/1968	2,650	Setembro/2015	2,640	Setembro/2007
Variância (m²)	0,005	-	0,012	-	0,008	-
DP (m)	0,071	-	0,109	-	0,089	-
RMS (m)	0,097	-	0,157	-	0,057	-

Na Tabela 19, observa-se que a diferença entre a média do PSMSL e do IBGE é de aproximadamente 15 cm. Em relação à mínima e máxima, a diferença é de 9 cm e 15 cm, respectivamente. A diferença da variância e do desvio padrão é de 7 mm² e 4 cm, respectivamente. E o RMS apresenta uma diferença de 6 cm. Analisando as diferenças entre os dados do IBGE e da UHSLC tem-se que, a diferença da média é de aproximadamente 4 cm. A mínima e máxima, a diferença é de 1 cm em ambas. A diferença da variância e do desvio padrão é de 4 mm² e 2 cm, respectivamente. E o RMS apresenta uma diferença de 10 cm. Observa-se que a diferença entre a média do PSMSL e da UHSLC é de aproximadamente 14 cm. Em relação à mínima e máxima, a diferença é de aproximadamente 10 cm e 14 cm, respectivamente. A diferença da variância e do desvio padrão é de 3 mm² e 2 cm, respectivamente. E o RMS apresenta uma diferença de 4 cm.

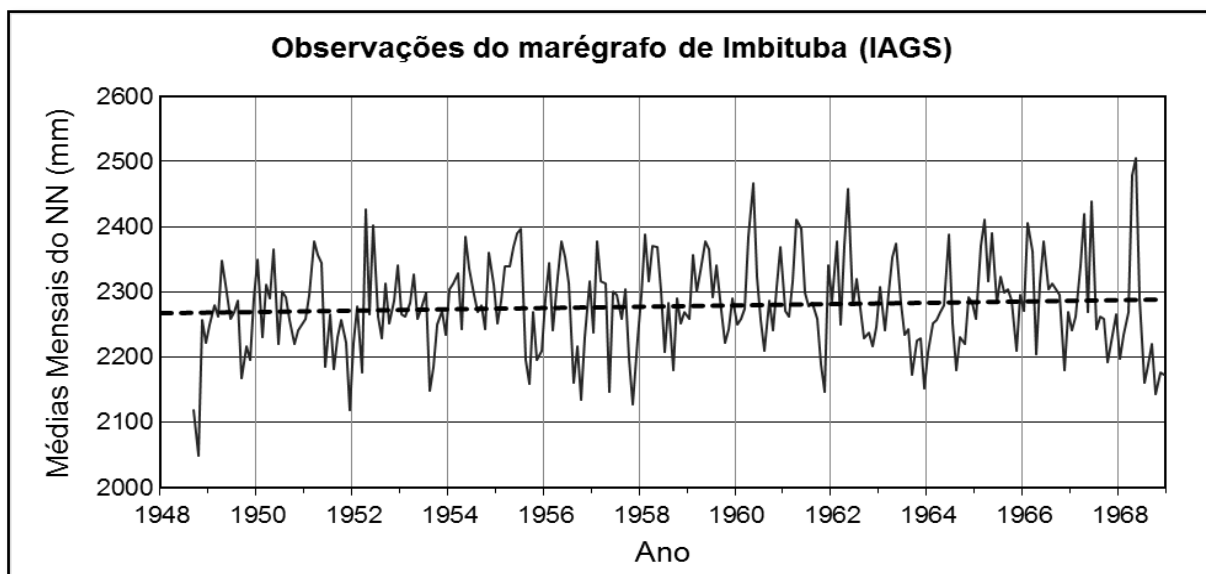
A partir dos resultados, ressalta-se que é importante o conhecimento da diferença que há entre os sensores para que os dados sejam corrigidos e assim seja possível realizar a integração das séries. Para uma melhor compatibilização dos dados, analisou-se o coeficiente de correlação dos dados dos BDs e obteve-se um coeficiente de 0,98 (UHSLC) e 0,99 (IBGE e PSMSL), como interpretação tem-se uma correlação muito forte, persistindo as diferenças sistemáticas nas referências. A Tabela 20 apresenta o resultado da estatística de regressão das observações mensais do nível do mar do marégrafo de Imbituba proveniente dos BDs do PSMSL, da UHSLC e do IBGE. Vale ressaltar que para a obtenção da estatística de regressão, considerou-se o nível de confiança de 95%.

TABELA 20 - ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO DAS OBSERVAÇÕES MENSAIS DO NÍVEL DO MAR PROVENIENTES DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA (PSMSL, UHSLC, IBGE)

Estatística	Precisão (PSMSL)	Precisão (UHSLC)	Precisão (IBGE)
Correlação	0,9989	0,9884	0,9939
R ²	0,9979	0,9769	0,9879
R ² ajustado	0,9978	0,9762	0,9878
Erro padrão (mm)	0,2702	0,2876	0,2939

A partir dos resultados estatísticos apresentados na Tabela 20 verifica-se que as observações obtidas de distintos BDs estão acuradas. A Figura 44 apresenta a série temporal mensal das observações do IAGS.

FIGURA 44 - NÍVEL DO MAR MENSAL OBTIDO A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES DO IAGS DE SETEMBRO DE 1948 A DEZEMBRO DE 1968



Ao analisar a Figura 44 com as observações mensais do IAGS, verificou-se uma elevação de cerca de 1,2 mm/ano. Para se ter uma visão melhor da qualidade das observações gerou-se a série temporal dos resíduos das médias mensais, obtidas do BD do PSMSL, Figura 45. A Figura 46 apresenta a série temporal mensal das observações da UHSLC.

FIGURA 45 - RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES OBTIDOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS DO PSMSL (IAGS) DE SETEMBRO DE 1948 A DEZEMBRO DE 1968

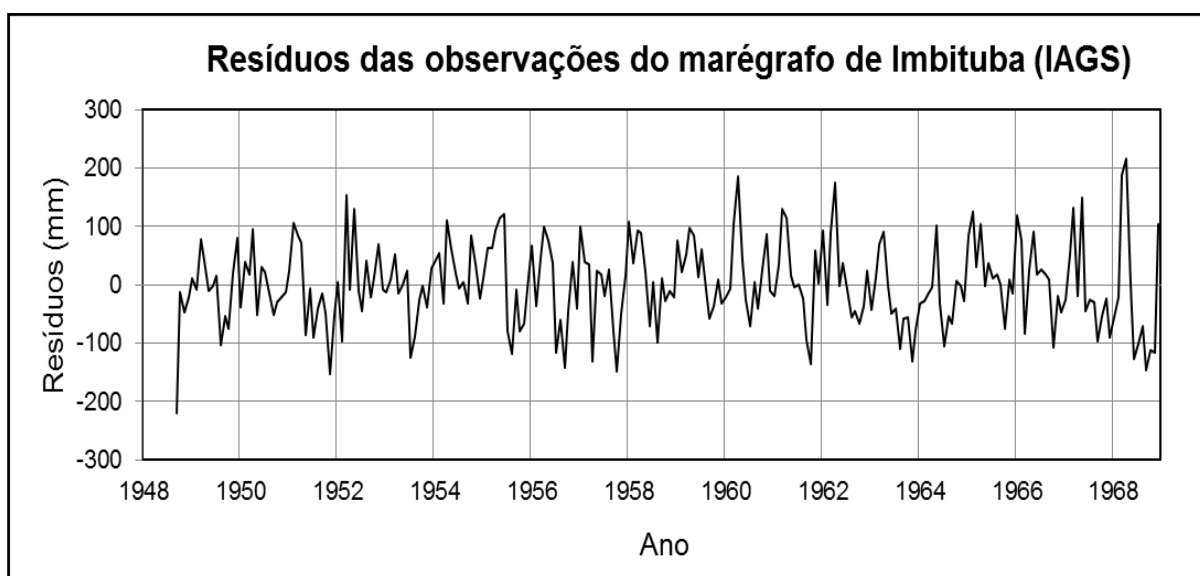
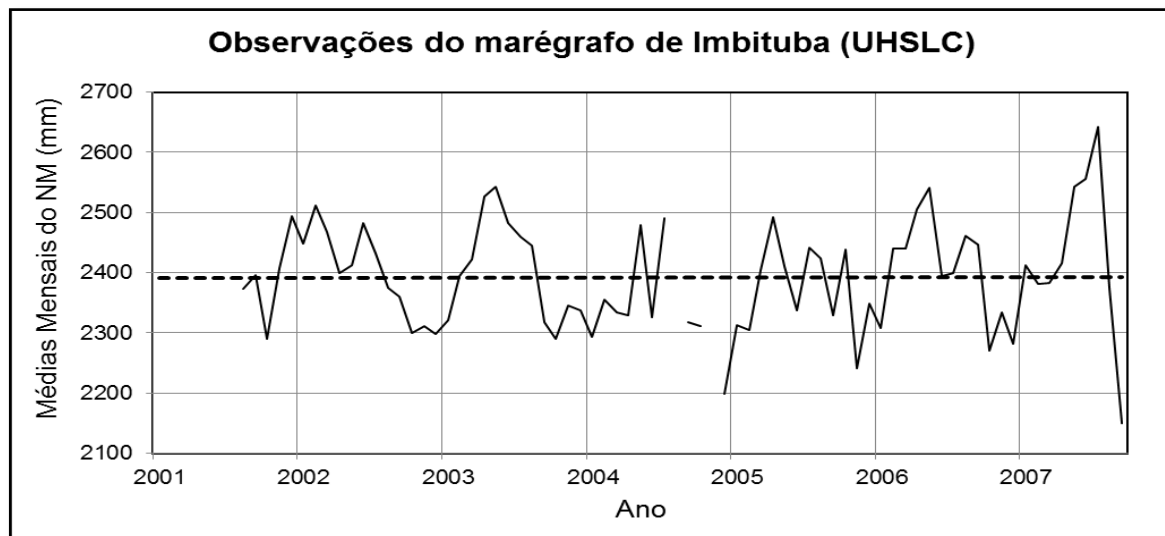


FIGURA 46 - NÍVEL DO MAR MENSAL OBTIDO A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES DA UHSLC DE AGOSTO DE 2001 A SETEMBRO DE 2007



Na análise da Figura 46 com as observações da UHSLC, verifica-se que houve uma descontinuidade de observações de dados no marégrafo, nos meses de agosto e novembro de 2004. Em relação à análise da elevação, a variação do NM é cerca de 1,78 mm/ano. Para se ter uma visão melhor da qualidade das observações gerou-se a série temporal dos resíduos das médias mensais, obtidas do BD da UHSLC, Figura 47. A Figura 48 apresenta a série temporal mensal das observações do IBGE.

FIGURA 47 - RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES OBTIDOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS DA UHSLC DE AGOSTO DE 2001 A SETEMBRO DE 2007

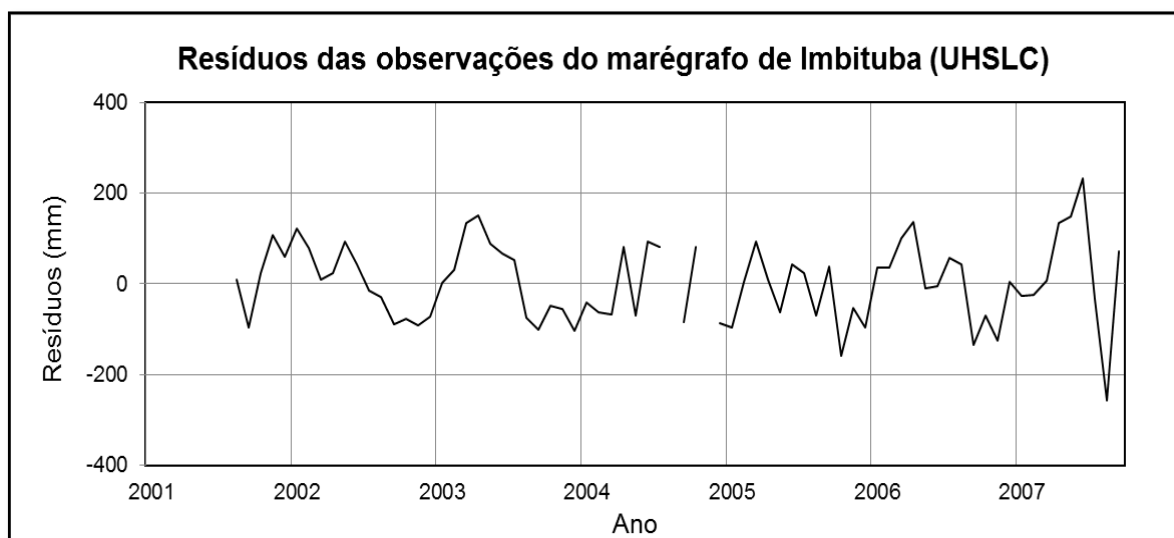
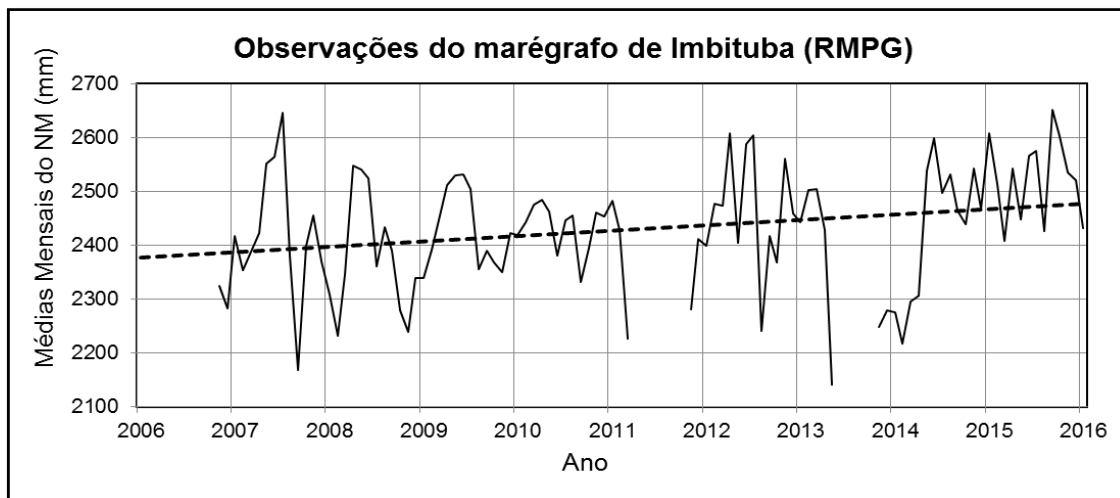
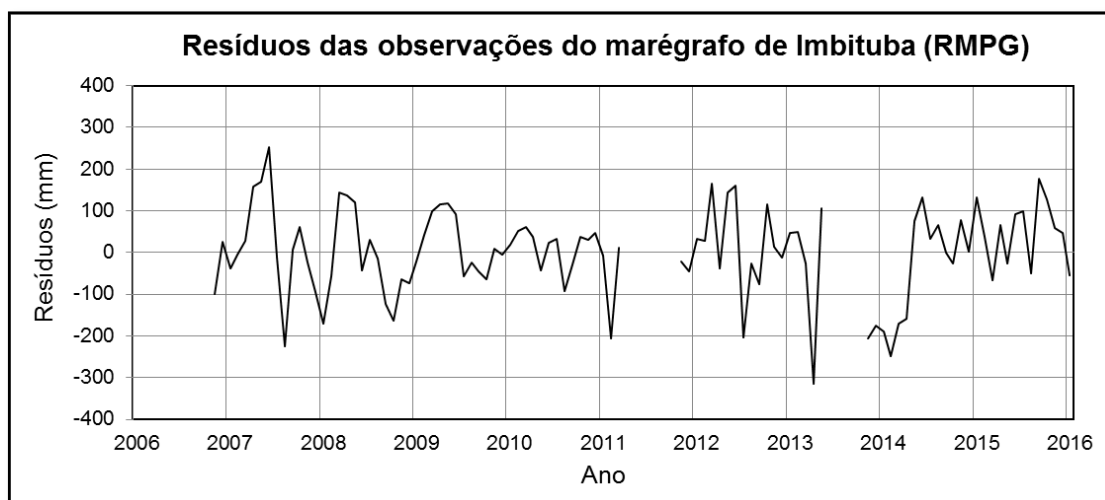


FIGURA 48 - NÍVEL DO MAR MENSAL OBTIDO A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES DO IBGE DE NOVEMBRO DE 2006 A JANEIRO DE 2016



Na análise da Figura 48 com as observações mensais da RMPG, verifica-se que houve uma descontinuidade, do período de abril a outubro de 2011 e de junho de 2013 a outubro de 2013, sendo assim, nesses períodos, não se pode afirmar se houve um decréscimo ou acréscimo na variação do NM. Em relação a variação do NMM relativo obteve-se cerca de 5,26 mm/ano. Para se ter uma visão melhor da qualidade das observações gerou-se a série temporal dos resíduos das médias mensais, obtidas do BD do IBGE, Figura 49.

FIGURA 49 - RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES OBTIDOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS DO IBGE DE NOVEMBRO DE 2006 A JANEIRO DE 2016



Destaca-se que as análises acerca da elevação do NM, ainda não são referentes ao NMM absoluto, pois ainda não foi retirado possíveis movimento da

crosta. Vale destacar que as discontinuidades apresentadas nas séries temporais de observações serão completadas com os dados de altimetria por satélite. Nas Figuras 50, 51 e 52, apresentam-se a série temporal das médias anuais referentes aos dados obtidos no BD do PSMSL, no BD da UHSLC e no BD do IBGE.

FIGURA 50 - MÉDIAS ANUAIS DO NÍVEL DO MAR A PARTIR DOS DADOS DO IAGS - PSMSL DO PERÍODO DE 1948 - 1968

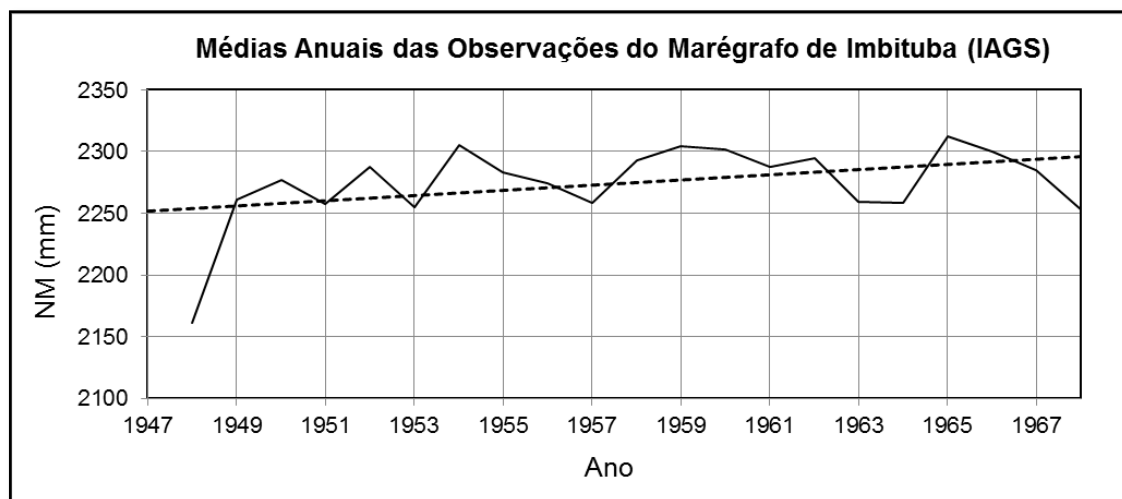
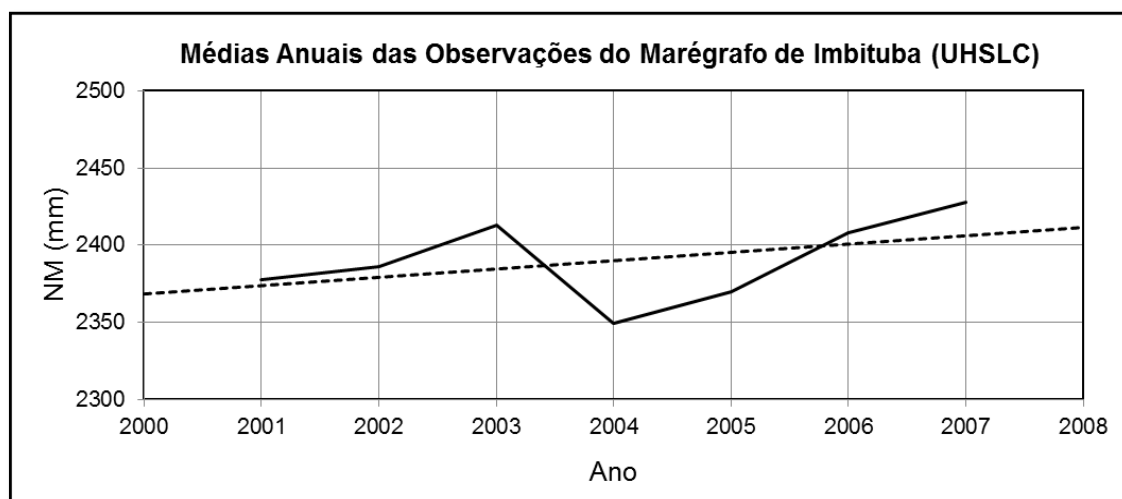


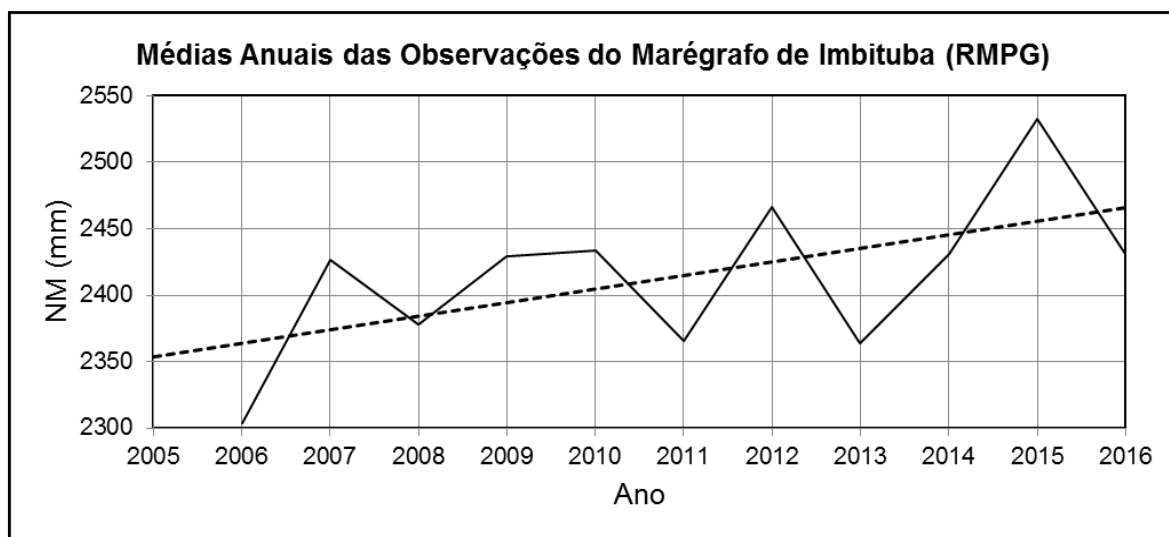
FIGURA 51 - MÉDIAS ANUAIS DO NÍVEL DO MAR A PARTIR DOS DADOS DA UHSLC DO PERÍODO DE 2001 - 2007



Analisando a série temporal anual dos dados da IAGS, evidenciou-se uma elevação de 1,4 mm/ano, similar à obtida nos dados mensais. Em relação a série temporal anual dos dados da UHSLC obteve-se uma elevação de 2,69 mm/ano similar à obtida nos dados mensais. Para a série temporal anual dos dados do IBGE

obteve-se uma elevação de 5,92 mm/ano próxima à obtida para os dados mensais, aparentando existir uma aceleração na evolução do NM em Imbituba. Destaca-se que estas três séries temporais se referem a períodos distintos.

FIGURA 52 - MÉDIAS DO NÍVEL DO MAR ANUAL DOS DADOS DO IBGE - RMPG DO PERÍODO DE 2006 - 2016



Assim como foi realizado nos dados mensais, analisou-se a estatística de regressão das observações anuais do nível do mar do marégrafo de Imbituba, evidenciando o coeficiente de correlação muito forte (0,9999). Vale ressaltar que para a obtenção da estatística de regressão, considerou-se o nível de confiança de 95%. Em vista das correlações evidenciadas estima-se que se pode trabalhar com os dados mensais para se determinar as elevações do NM em mm/ano. Na Tabela 21 apresentam-se as análises estatísticas das médias anuais do marégrafo de Imbituba, dos dados que se encontram no BD do PSMSL, da UHSLC e da RMPG.

Na Tabela 22 apresentam-se as diferenças das precisões das médias anuais dos dados que se encontram no BD do PSMSL, da UHSLC e da RMPG. Após as análises, filtragem e compatibilização das séries, realizou-se a integração das séries (UHSLC+RMPG, IAGS+UHSLC+RMPG) para que se possa analisar a elevação do NM que há em torno do DVB-I, como se apresenta nas Figuras 53 e 54.

TABELA 21 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS DAS OBSERVAÇÕES ANUAIS DO NÍVEL DO MAR PROVENIENTES DO MARÉGRAFO DE IMBITUBA DO BD DO PSMSL, DA UHSLC E DO IBGE

Precisão	PSMSL	Ano	IBGE	Ano	UHSLC	Ano
Média (m)	2,2740	-	2,4100	-	2,3900	
Mínima (m)	2,1610	1948	2,3000	2006	2,3500	2004
Máxima (m)	2,3120	1965	2,5300	2015	2,4200	2007
Variância (m ²)	0,0010	-	0,0036	-	0,0007	-
Desvio Padrão (m)	0,0323	-	0,0605	-	0,0260	-
RMS (m)	0,3291	-	0,4680	-	0,1840	-

TABELA 22 - DIFERENÇA DAS MÉDIAS ANUAIS DOS DADOS DOS BDs DO PSMSL, DO IBGE E DA UHSLC

Precisão	Diferenças		
	IBGE-PSMSL	IBGE-UHSLC	UHSLC -PSMSL
Diferença da Média	14 cm	2,3 cm	12 cm
Diferença da Mínima	14 cm	5 cm	19 cm
Diferença da Máxima	22 cm	10 cm	12 cm
Diferença da Variância	3 mm ²	3 mm ²	0,4 mm ²
Diferença do Desvio Padrão	3 cm	3 cm	6 mm
Diferença do RMS	14 cm	45 cm	31 cm

FIGURA 53 - INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS (UHSLC+ RMPG) DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA

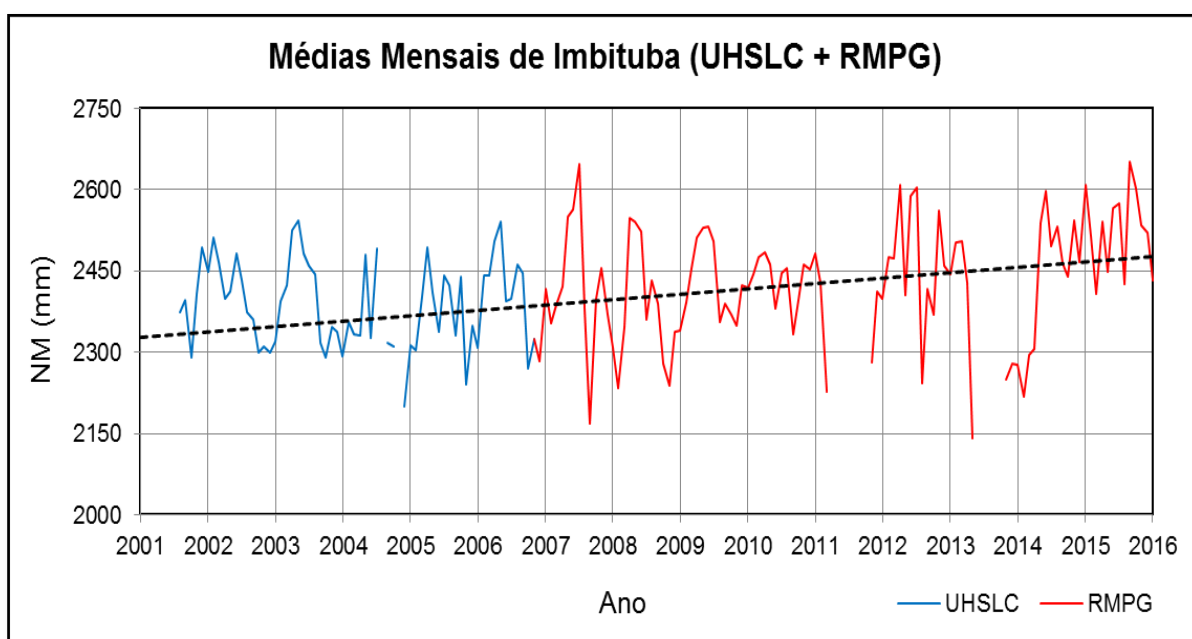
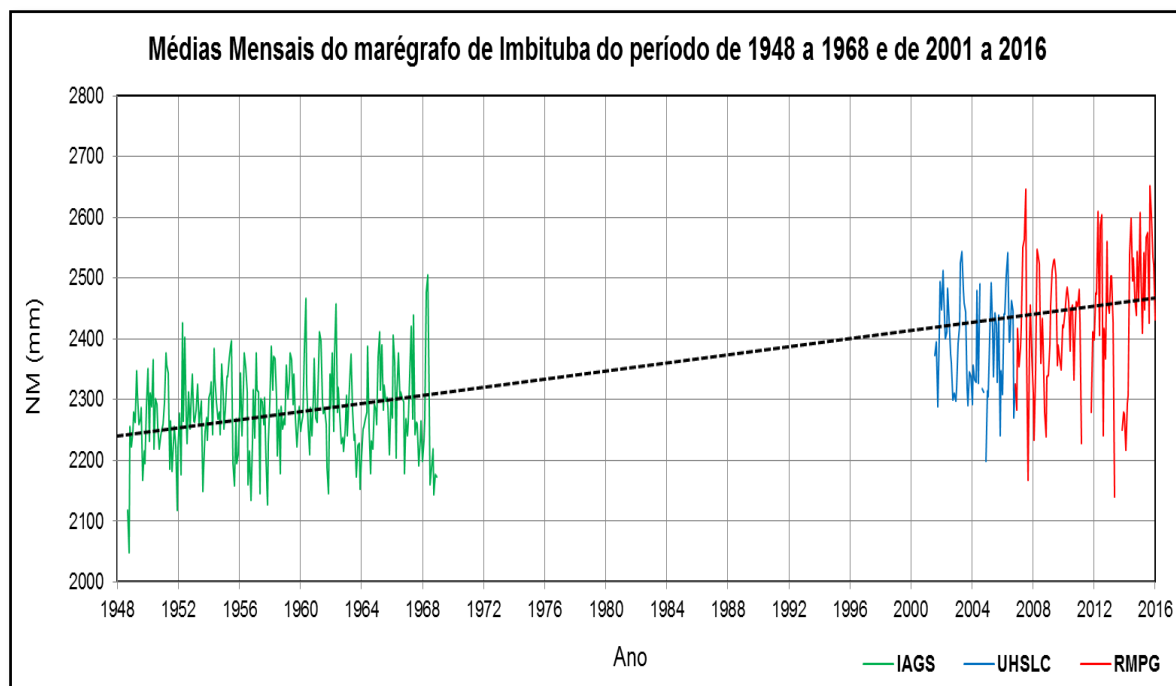


FIGURA 54 - INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS (IAGS+ UHSLC+ RMPG) DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA



O aspecto fundamental é o da identificação da referência de leitura dos distintos sensores, desta forma, as séries de observações do nível do mar podem ser interligadas. Dalazoana et al. (2004a) realizou a integração das duas séries do PSMSL e do IBGE com dados de 2001 a 2005, obtendo uma elevação de 2 mm/ano no NMM local, considerada a variação da posição geocêntrica do marégrafo.

Neste trabalho, a integração das duas séries (UHSLC + RMPG) indicou uma elevação de cerca de 6,90 mm/ano, Figura 53, período de 2001 a 2016. Resultados do último relatório do IBGE (2016a) apresentam resultados similares para este mesmo período analisado, uma variação do NMM relativo de 6,60 mm/ano. A integração das três séries (IAGS + UHSLC + RMPG) indicou uma elevação de cerca de 3,10 mm/ano, Figura 54, período de 1948 a 1968 e de 2001 a 2016. Na Figura 54 percebe-se uma lacuna de dados do período de 1968 a julho de 2001. Isto se deve ao fato que o IAGS só obteve dados das autoridades brasileiras, até 1968. Assim como, a implantação do marégrafo de Imbituba ter sido realizada depois.

5. ASPECTOS ACERCA DOS MOVIMENTOS DA CROSTA, EUSTÁTICOS, APARENTES E RESULTANTES NO DVB-I

No presente capítulo apresentam-se os aspectos gerais relacionados aos movimentos da crosta, eustáticos, aparentes e resultantes no DVB-I. São abordados os principais aspectos associados à estimativa da velocidade das estações, modelo de troposfera, modelo de ionosfera, correção de carga de maré oceânica, correção de carga de maré atmosférica e os resultados obtidos acerca da evolução temporal da componente altimétrica.

5.1 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DAS ESTAÇÕES GNSS UTILIZADOS

Para investigação acerca do movimento da crosta no DVB-I, nesta pesquisa trabalhou-se com os dados disponíveis no site do IBGE, assim como dados fornecidos pelo mesmo a partir do Departamento de Geodésia, mais precisamente da RBMC. Os arquivos das estações que fazem parte do IGS05, IGS08 e IGB08 foram obtidos via *ftp - aiub/BSWUSER52*.

Os dados disponibilizados das estações da RBMC são diários em formato RINEX, correspondentes às seções iniciadas às 00h01min e encerradas às 24h00min, com intervalo de rastreamento de 15 segundos. Os receptores das estações possuem a capacidade de rastrear satélites GPS e GLONASS. Estes coletam e armazenam continuamente as observações de código e da fase das ondas portadoras transmitidas pelos satélites das constelações.

O período de dados utilizados é de 5 de setembro de 2007 a 2 de janeiro de 2016, tendo início na semana GPS 1443 e finalizando na semana GPS 1877, totalizando 435 semanas GPS e 3042 observações para cada estação. Na Tabela 23 apresenta-se a distribuição da quantidade de dias e semanas GPS consideradas no processamento. Vale ressaltar que podem acontecer intempéries e não haver disponibilidade de dados. A escolha da data para início do processamento de dados coincide com a época de materialização da estação IMBT.

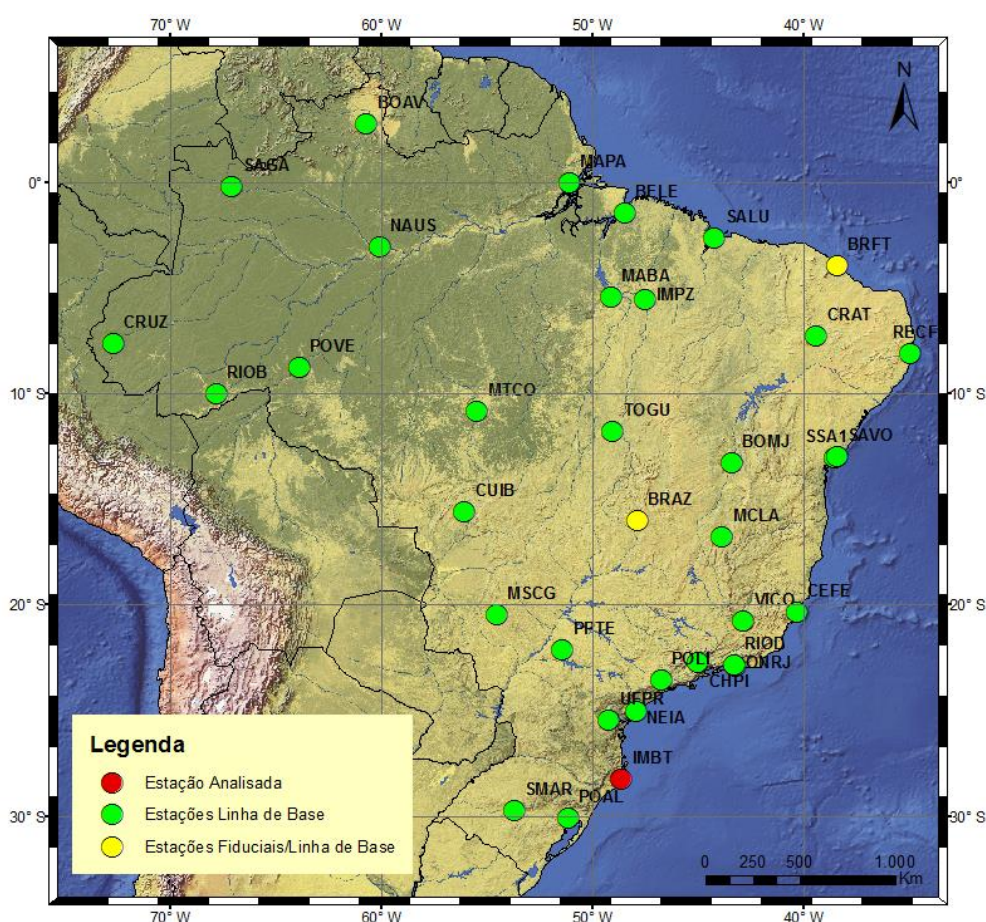
A Figura 55 apresenta a localização de todas as estações utilizadas no processamento para determinação da posição da estação IMBT. Onde se observa que as estações estão distribuídas em todo o território brasileiro.

TABELA 23 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE DIAS E SEMANAS GPS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO

Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Dias	118	366	365	365	365	366	365	365	365	2	3042
Semanas GPS	17	52	52	52	52	53	52	52	159 ^(*)	-	541

(*) Realizou-se o processamento de 3 estratégias distintas, (processamento geral, processamento sem utilização das correções de carga oceânica e de carga atmosférica e o processamento com uso de dados meteorológicos locais) são utilizadas 53 semanas em cada processamento.

FIGURA 55 - ESTAÇÕES UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO GNSS



Para análise dos dados das estações desenvolveu-se um *script* em *Python*, o qual separava as estações por ano e por regiões, facilitando uma melhor visualização dos dados. No Apêndice 2, mostra a época em que cada estação foi materializada. Para o processamento utilizaram-se as estações materializadas antes ou a partir de 5 de setembro de 2007, sendo que para as que foram materializadas antes desta data desconsideraram-se os dias anteriores, também foram

consideradas duas estações materializadas em 2008 e uma em 2009. Na Tabela 24 apresentam-se as 35 estações utilizadas no processamento GNSS, destacando o ano e a função de cada estação.

TABELA 24 - ANO E AS ESTAÇÕES UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO GNSS

Ano/Estação	Analizada	Formação de Linha de Base	Fiducial/Linha de Base
-			
2007	IMBT	POAL; SMAR; UFPR; CEFE; CHPI; MCLA ^(*) ; NEIA; ONRJ; POLI; PPTE; RIOD; VICO; BELE; BOAV; CRUZ; MABA; MAPA; NAUS; POVE; RIOB; SAGA; BOMJ; CRAT; IMPZ; RECF; SALU; SAVO; SSA1; CUIB	BRAZ; BRFT
2008		TOGU; MSCG	
2009		MTCO	

(*) Esta estação foi utilizada até 07 de abril de 2014, pois a mesma foi substituída pela estação MCL1.

Baseado no *script* anterior desenvolveu-se outro *script* em *Python*, com o objetivo de verificar o percentual de disponibilidade das observações das estações ao longo dos anos trabalhados. A partir destes dois *scripts* desenvolvidos pode-se ter uma visão geral da disponibilidade dos dados. A Tabela 25 apresenta o percentual de disponibilidade de observações para as estações trabalhadas ao longo do período em análise, considerando a quantidade de dias apresentada na Tabela 23.

TABELA 25 - PERCENTUAL DA DISPONIBILIDADE DE OBSERVAÇÕES PARA AS ESTAÇÕES

Continua

Estações	Anos (%)									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 ^(*)
BELE	88,98	96,45	100	99,73	99,73	97,81	98,63	99,73	100	100
BOAV	61,86	91,26	97,81	100	98,63	95,08	99,17	97,26	100	100
BOMJ	98,31	99,45	98,36	99,18	100	100	100	100	100	100
BRAZ	99,15	98,09	97,53	100	100	99,73	98,90	99,73	90,68	100
BRFT	99,15	95,63	94,52	70,96	91,78	96,45	98,90	88,22	16,44	0
CEFE	99,15	96,17	97,26	99,45	99,73	100	100	100	100	100
CHPI	99,15	95,90	96,97	99,18	98,90	99,73	55,62	100	89,04	100

Conclusão

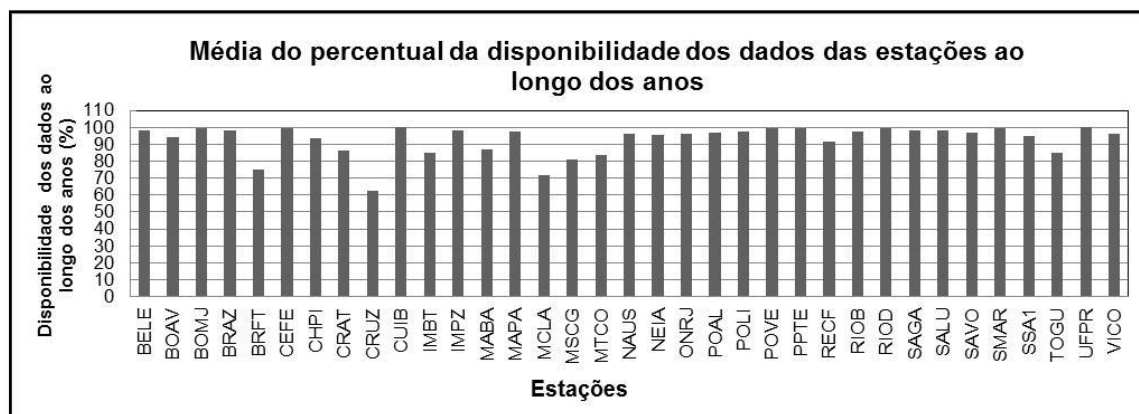
CRAT	91,52	85,52	99,20	83,29	6,58	99,73	100	99,73	94,52	100
CRUZ	97,46	73,50	4,11	0	0	52,46	100	99,18	97,26	100
CUIB	100	100	99,73	99,73	100	98,91	100	99,73	100	100
IMBT	99,15	85,79	96,16	100	78,90	97,27	99,18	99,18	92,05	0
IMPZ	99,15	99,18	96,71	100	100	100	97,53	89,04	99,45	100
MABA	100	95,35	89,86	97,81	65,21	24,86	99,18	98,63	98,36	100
MAPA	87,29	98,09	99,73	96,44	98,90	99,45	93,42	100	100	100
MCLA	96,61	98,09	97,81	96,44	98,90	97,81	98,36	32,05	0	0
MSCG	-	97,27	95,62	44,93	90,41	95,36	93,15	92,33	99,73	100
MTCO	-	-	54,25	96,44	92,88	94,81	100	99,73	99,45	100
NAUS	100	100	98,36	100	86,03	93,44	99,18	93,97	100	100
NEIA	74,58	92,90	98,36	96,71	94,79	99,73	91,23	100	98,63	100
ONRJ	99,15	100	95,07	99,45	98,36	99,73	98,36	100	99,73	100
POAL	75,42	68,85	99,45	98,08	97,81	99,73	100	98,63	99,73	100
POLI	94,92	97,54	99,73	98,63	97,26	96,99	92,88	98,90	100	100
POVE	100	94,81	98,36	99,73	99,45	99,45	99,45	99,45	98,90	100
PPTTE	100	98,36	99,73	100	97,81	100	100	99,73	99,73	100
RECF	99,15	95,36	100	98,63	88,22	34,43	99,73	100	99,18	100
RIOB	99,15	97,27	93,43	99,18	89,59	95,63	98,63	97,26	98,90	100
RIOD	100	100	98,90	100	100	99,45	100	100	100	100
SAGA	90,68	98,91	99,45	100	100	99,73	95,34	98,08	98,36	100
SALU	100	96,45	95,89	91,23	99,73	99,73	96,71	99,73	98,63	100
SAVO	86,44	97,81	94,25	96,99	96,71	99,45	99,73	100	97,26	100
SMAR	99,15	100	100	100	98,90	100	99,73	99,45	99,73	100
SSA1	95,76	98,36	93,15	97,53	98,63	94,26	100	99,18	98,36	100
TOGU	-	70,22	70,41	87,67	99,73	96,45	99,18	100	97,81	100
UFPR	100	99,45	99,18	100	100	100	100	100	100	100
VICO	88,14	98,63	95,89	99,45	92,88	89,89	99,73	100	98,08	100
Média	94,36	94,43	92,72	92,77	90,18	92,79	97,20	96,54	93,14	91,43

(*) Vale ressaltar que para o ano de 2016 considerou-se apenas 2 dias como mostrado na Tabela 23, para realizar o fechamento da semana GPS 1877.

Observa-se na Tabela 25 que se trabalhou com um conjunto de dados consistente quando considerada a média anual da disponibilidade dos dados acima de 90%. Destaca-se que algumas estações apresentam mais disponibilidade nos dados comparados a outras estações, por exemplo, a estação UFPR apresenta uma média de 99,78% na disponibilidade dos dados; em contrapartida a estação que

apresenta menor disponibilidade é a de CRUZ com uma média de 62,39%, como se apresenta na Figura 56. Vale ressaltar que a estação IMBT é o objeto de estudo. Esta apresenta uma disponibilidade de dados de 84,77% ao longo do período analisado.

FIGURA 56 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES AO LONGO DO PERÍODO ANALISADO



Com base nas Tabelas 23 e 25 e na Figura 56, ressalta-se que se trabalhou com 98748 arquivos RINEX dos dados das estações GNSS obtidas da RBMC, correspondendo a um total de aproximadamente 420 *Gigabytes* de dados brutos.

5.1.1 Preparação dos Dados GNSS para o Processamento

Como apresentado no Apêndice 3, algumas estações passaram pelo processo de troca de equipamento. Sendo assim, foi necessário verificar algumas informações no arquivo das estações (extensão STA), obtido via *ftp - aiub/BSWUSER52*. Neste verificou-se as informações das estações, tais como os tipos de receptores e antenas, alturas das antenas e as épocas em que houve mudança, isto antes do processamento. Nos arquivos RINEX, observaram-se a nomenclatura das estações assim como as informações mencionadas anteriormente. Segundo Costa (1999) esta é uma tarefa importante de ser realizada antes do processamento para que se ratifique, se todas as alturas de antenas se referem ao zero de referência de cada modelo. A Tabela 26 apresenta todos os modelos de receptores e antenas utilizados no processamento e suas respectivas alturas.

TABELA 26 - MODELOS DE RECEPTORES E DE ANTENAS, E ALTURA DAS ANTENAS

Continua

Receptor/Antena	Randome	Frequência	Altura da Antena (m)		
			Norte	Leste	Altura
TRIMBLE NETR5 TRM55971.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0000
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0010
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0080
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0100
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0710
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,1000
TRIMBLE NETR5 TRM41249.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0025
TRIMBLE NETR5 TRM29659.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0075
TRIMBLE NETR5 TRM59800.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0080
TRIMBLE NETR8 TRM59800.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0000
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0020
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0075
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0080
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0500
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0710
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,1003
TRIMBLE NETR8 TRM41249.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0075
TRIMBLE NETR8 TRM29659.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0075
TRIMBLE NETR8 TRM55971.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0080
TRIMBLE NETR8 LEIAX1203+GNSS	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,1003
TRIMBLE NETR9 TRM59800.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0020
TRIMBLE NETRS TRM41249.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0025
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0080
	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0100
TRIMBLE NETRS TRM59800.00	None	L ₁ /L ₂	0,0000	0,0000	0,0080

Conclusão

Receptor/Antena	Randome	Frequência	Altura da Antena (m)		
			Norte	Leste	Altura
TRIMBLE NETRS TRM29659.00	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0880
TRIMBLE 4000SSI TRM29659.00	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0000
LEICA GRX1200PRO LEIAT504	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0083
LEICA GRX1200PRO LEIAX1202	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0500
ASHTech UZ-12 ASH700700.B	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0600
ASHTech UZ-12 ASH701945C_M	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0792
JAVAD TRE_G3TH DELTA TPSCR.G3	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0792
LEICA GRX1200+GNSS LEIAX1203+GNSS	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0080
LEICA GR25 LEIAR10	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0080
TRIMBLE 4000SSI TRM29659.00	None	L_1/L_2	0,0000	0,0000	0,0000

Vale destacar que para geração da Tabela 26 foram levantadas as informações do arquivo STA obtido via *ftp - aiub/BSWUSER52*. Para realizar a formatação dos arquivos das estações para que apresentassem a mesma nomenclatura, criou-se um *script* em *Python*, utilizado para renomeação dos arquivos, de forma que os mesmos apresentassem as mesmas características, facilitando a sua identificação. O arquivo de cada estação possui uma identificação composta de oito campos, os quatro primeiros campos referem-se a sua sigla e nos quatro últimos campos referem-se à seção (dia do ano + 1).

Ressalta-se que cada antena possui uma posição do centro de fase, importante no processamento de dados GNSS. O *software* Bernese aplica a correção de centro de fase para reduzir as coordenadas ao marco da estação. Esta correção é feita a partir das informações de excentricidade e variações do centro de fase constantes nos arquivos PCV e no STA, obtidos via *ftp - aiub/BSWUSER52*.

Nestes, adicionalmente, encontram-se as informações em relação à combinação do modelo de antena, receptor e satélites utilizados em cada estação. Na Tabela 27 apresenta-se a sigla das estações, os valores utilizados para a altura da antena em cada estação nas distintas épocas processadas. Para desenvolvimento da Tabela 27 foram levantadas informações no arquivo STA, obtido via *ftp - aiub/BSWUSER52*.

TABELA 27 - SIGLA DAS ESTAÇÕES, ALTURA DAS ANTENAS (M) E AS DISTINTAS ÉPOCAS UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO

Estações	Época								
	2007,9	2008,9	2009,9	2010,9	2011,9	2012,9	2013,9	2014,9	2015,9
BELE	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
BOAV	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
BOMJ	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
BRAZ	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
BRFT	0,0083	0,0083	0,0083	0,0083	0,0083	0,0083	0,0083	0,0083	0,0083
CEFE	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CHPI	0,0792	0,0792	0,0792	0,0792	0,0792	0,0792	0,0792	0,0792	0,0792
CRAT	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
CRUZ	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
CUIB	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
IMBT	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
IMPZ	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
MABA	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
MAPA	0,0880	0,0880	0,0880	0,0880	0,0880	0,0880	0,0880	0,0880	0,0880
MCLA	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	-
MSCG	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
MTCO	-	-	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
NAUS	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
NEIA	0,0000	0,0000	0,0000	0,1003	0,1003	0,1003	0,1003	0,1003	0,1003
ONRJ	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
POAL	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
POLI	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500
POVE	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
PPTE	0,0025	0,0025	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
RECF	0,0710	0,0710	0,0710	0,0710	0,0710	0,0710	0,0710	0,0710	0,0710
RIOB	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
RIOD	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080

Conclusão									
Estações	Época								
	2007,9	2008,9	2009,9	2010,9	2011,9	2012,9	2013,9	2014,9	2015,9
SAGA	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
SALU	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
SAVO	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
SMAR	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
SSA1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
TOGU	-	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
UFPR	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000
VICO	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080

5.2 ESTRATÉGIAS PARA O PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS NO SOFTWARE BERNESE

Inicialmente definiram-se as principais informações e estratégias que seriam utilizadas no processamento dos dados GNSS no Bernese 5.2, como se apresenta no Quadro 2. Estas informações precisam estar bem definidas, pois o *software* Bernese é formado por um conjunto de programas que desempenham funções distintas dentro de um processamento de dados GNSS.

No processamento diário e semanal existem alguns programas importantes, como se mostra nas Figuras 57 e 58, respectivamente, os quais foram utilizados nesta pesquisa. Nestas figuras apresentam-se as estratégias desenvolvidas na realização do processamento. E, as funções desempenhadas pelos programas em cada etapa do processamento, uma vez que, um programa pode ter mais de uma função no processamento.

A partir do modo BPE (*Bernese Processing Engine*) realizou-se o processamento automatizado no *software* Bernese 5.2. Para o feito, desenvolveram-se dois *scripts* (extensão PCF) um diário baseado no RNX2SNX (RINEX para SINEX) do Bernese 5.2 (DACH, 2011) e um semanal baseado no SEMAN1584 do IBGE (IBGE, 2011), como se apresenta nos esquemas das Figuras 57 e 58. O *script* semanal é utilizado ao finalizar o processamento diário, pois sua utilização é para avaliar as séries e realizar a combinação das soluções diárias em uma única solução.

QUADRO 2 - PRINCIPAIS INFORMAÇÕES UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS

Período	Semana GPS: 1443 a 1877 ^(*)
Observações	GNSS: Código e Fase (dupla diferença)
Software	Bernese 5.2 (modo BPE)
Número de Estações	35 estações (Extensão YYO ¹)
Taxa de Coleta	30 segundos
Ângulo de Elevação	3°
Estratégia de Linha de Base	OBS-MAX
Órbita	Produtos do centro de análise CODE contendo as análises das órbitas GNSS (GPS e GLONASS) – Final IGS05, IGS08 e IGB08 ^(*)
Modelo de Nutação	IAU2000R06
Modelo de Polo	IERS2010XY
Efemérides Planetárias	DE405.PH
Modelo Global de Gravidade	EGM2008
Marés Oceânicas	OT_FES2004.TID
Maré da Terra Sólida	TIDE2000
Redução da carga dos efeitos troposféricos <i>a priori</i>	Dry_GMF ² (Na etapa de detecção dos resíduos – GPSEST)
Estimativa dos parâmetros do atraso troposféricos: Zênite e Gradiente	Wet_GMF ² (Etapa de detecção dos resíduos: Zênite – 2 horas; Sigma a priori relativo – 5 m Gradiente – 24 horas; Sigma a priori relativo – 5 m)
Estimativa da Troposfera	Modelo Troposférico VMF ³ (Solução Final)
Ambiguidades	Estratégia baseada em observações, distância e tempo. QIF ⁴ – linhas de base maiores que 2000 km
Unificação da referência das diferentes técnicas do rastreamento dos receptores	Correções DCB ⁵
Modelo de Ionosfera	<i>Global Ionosphere Maps</i> (diário, com extensão ION) obtido do CODE
Modelo de Carga Oceânica	FES2004 (extensão BLQ)
Redução de Carga Atmosférica	Carga atmosférica (extensão ATL)
Definição da Placa Oceânica	<i>South American</i> - SOAM (extensão PLD)
Dados Meteorológicos	Imbituba e Florianópolis (extensão MET)
Variação de Centro de Fase	Absoluto (IGS05, IGS08 e IGB08)
Coordenadas e Velocidades	(IGS05, IGS08 e IGB08)
Soluções Diárias	Soluções Semilivres – Todas as estações injuncionadas em $\sigma = \pm 1 m$. Arquivos de saída: SINEX ⁶
Tempo de Processamento	Cerca de 9 horas
Soluções Semanais	Soluções Semilivres - Injuncionadas em $\sigma = \pm 1 m$. Arquivos de saída: SINEX ⁶
Tempo de Processamento	Cerca de 30 minutos

(*) Semana GPS 1443 a 1631 – IGS05; Semana GPS 1632 a 1708 – IGS08; Semana GPS 1709 a 1877 – IGB08

¹ Indica os dois últimos dígitos do ano da observação

² *Global Mapping Function*

³ *Vienna Mapping Function*

⁴Quasi-Ionosphere Free

⁵Differential (P1-C1) Code Biases

⁶Software Independent Exchange

FIGURA 57 - FLUXOGRAMA DO SCRIPT PARA O PROCESSAMENTO DIÁRIO

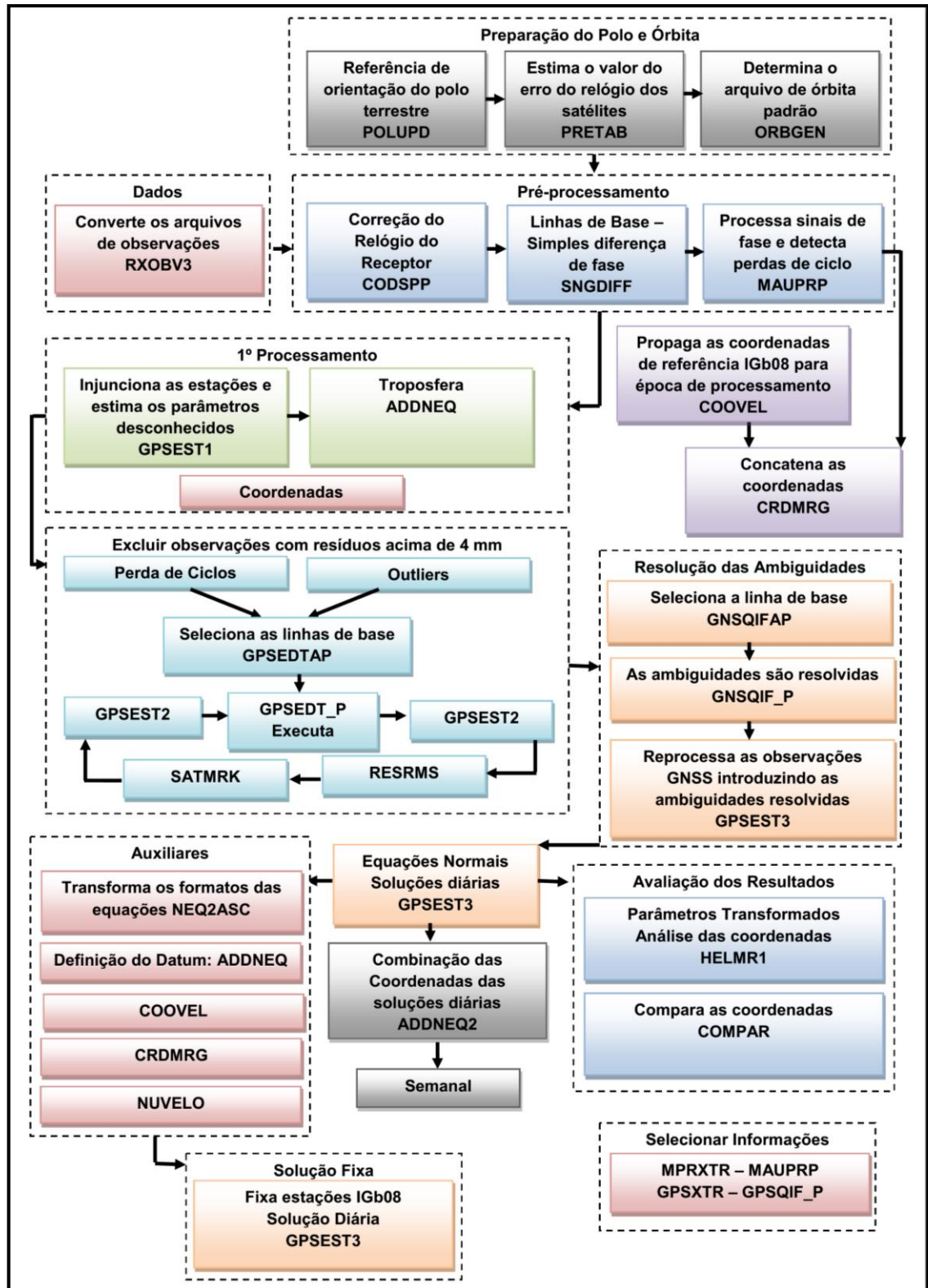
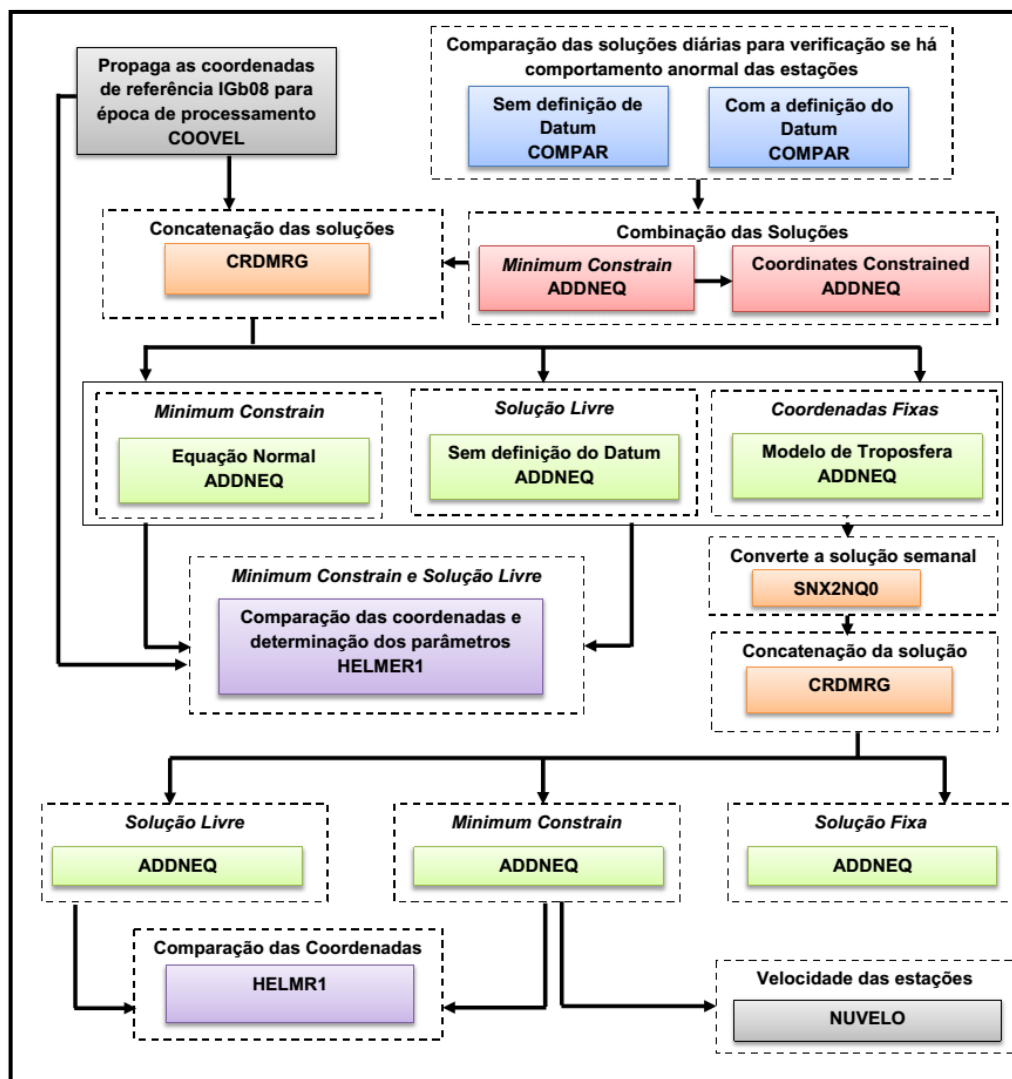


FIGURA 58 - FLUXOGRAMA DO *SCRIPT* PARA O PROCESSAMENTO SEMANAL

Vale ressaltar que no processamento semanal a coordenada de cada estação é reduzida ao dia médio de cada semana GPS processada.

Os *scripts* foram desenvolvidos a partir da adição das funções que existem no Bernese, sendo necessário serem salvos em diretório. Vale ressaltar que algumas funções têm mais de uma funcionalidade. E, então, é importante que se salve em diretórios distintos. Estes diretórios são criados uma única vez e são executados junto ao *script*.

Para geração das séries temporais é importante o conhecimento dos dados de entrada, as análises dos dados de saída e a validação dos resultados. No processamento diário são gerados dois arquivos importantes a serem utilizados no processamento semanal, um contém as coordenadas finais e outro contém as

equações normais. A combinação das soluções diárias é realizada a partir de um ajustamento por mínimos quadrados das equações normais, onde se estima as coordenadas e velocidades *a priori* das estações. Na combinação de soluções GNSS podem-se realizar dois tipos de soluções: rede injuncionada (ponderação das coordenadas e velocidades *a priori* das estações de referência) e rede livre.

Observou-se nas Figuras 57 e 58, que a combinação dos sistemas de equações normais é realizada no programa ADDNEQ2. O ajustamento empregado no ADDNEQ2 independe das observações das soluções diárias, sendo assim é armazenado nas equações normais as coordenadas e sua MVC completa com covariâncias, bem como também se podem armazenar parâmetros da troposfera, órbita, altura da antena, modelo de receptor e antena, entre outras informações.

5.2.1 Propagação de Coordenadas

Selecionou-se as 2 estações brasileiras que fazem parte do IGb08 (BRAZ e BRFT), as quais foram utilizadas para a extrapolação das coordenadas para época que atualmente é processada. A época referida para o processamento é 01 de janeiro de 2005. Na Tabela 28 apresentam-se as coordenadas e as velocidades das 2 estações pertencentes ao IGb08, sendo este a atualização mais recente do IGS08. Mais detalhes da atualização podem ser vistos em IGSCB (2016). Para realização da propagação da coordenada utilizou-se o programa COOVEL, o qual faz parte do conjunto de programas que compõem o Bernese (DACH e WALSER, 2015; DACH et al., 2015).

A utilização do programa COOVEL foi para propagar um conjunto de coordenadas referidas a uma determinada época, para outra época. Nesta pesquisa utilizou-se as coordenadas de referência IGS05, IGS08 e IGb08 para propagar para a época de processamento.

TABELA 28 - COORDENADAS E VELOCIDADES DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA EM IGb08

Estação	Coordenadas			Velocidades		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vx (m/ano)	Vy (m/ano)	Vz (m/ano)
BRAZ	4115014,07407	-4550641,55921	-1741443,95116	-0,00062	-0,00493	0,01213
BRFT	4985393,52586	-3954993,41210	-428426,70362	-0,00208	-0,00432	0,01238

5.2.2 Preparação dos arquivos referentes às coordenadas do Polo e Órbitas

O programa POLUPD foi utilizado para converter as informações de polo do IERS no formato IEP para o formato interno utilizado pelo Bernese ERP. Os arquivos IEP são fornecidos pelo CODE em séries semanais. Estes contêm as informações dos *Earth Orientation Parameters* (EOP – Parâmetros de Orientação da Terra). Os arquivos gerados são utilizados como entrada no programa PRETAB.

O programa PRETAB foi utilizado para obter órbita tabular, transformando as efemérides precisas (EPH), fornecidas pelo CODE, referenciadas a um sistema terrestre em um arquivo de órbita tabular referenciado a um sistema celeste inercial. Os arquivos de efemérides precisas são arquivos diários. Adicionalmente utilizou-se este programa para extrair e gerar um arquivo com as informações do relógio dos satélites. Estas informações são importantes porque serão utilizadas como entrada no programa ORBGEN e no pré-processamento pelo programa CODSP. Vale ressaltar que no programa PRETAB se tem a opção de definir se será utilizado no processamento a correção de carga oceânica e a correção de carga atmosférica. Nesta pesquisa realizou-se o processamento com a utilização destes arquivos e sem a utilização destes para que se pudesse analisar a precisão dos resultados.

Foram utilizadas efemérides precisas fornecidas pelo CODE porque geralmente não é necessário remover os satélites ruins, isto se deve ao fato que o CODE introduz o código de precisão adequado para todos os seus satélites acima das configurações para não prejudicar a importação das órbitas de satélites (DACH e WALSER, 2015, p. 24).

O programa ORBGEN prepara a órbita padrão utilizando a posição dos satélites do arquivo de órbita tabular como pseudo-observações para um ajustamento dos mínimos quadrados. Os arquivos de entrada para sua execução são os gerados pelo o programa POLUPD (arquivo de polo) e pelo o programa PRETAB (órbitas tabular). Adicionalmente como informações importantes para os modelos de órbitas foram utilizadas: DE405 (efemérides planetárias), Modelo do Geopotencial (EGM2008), Maré oceânica (OT_FES2004) e Maré Sólida Terrestre (TIDE2000). Assim como nos programas POLUPD e PRETAB utilizaram-se o IERS2010XY (Modelo de Polo) e IAU2000R06 (Modelo de Nutação).

A geração das órbitas padrão é o resultado de uma integração numérica das equações de movimento. A informação mais importante no arquivo de saída é o

RMS para cada satélite. No processamento foi utilizado modelo do sistema para parâmetros da órbita dinâmica. Com a utilização desse sistema e com espaçamento estocástico a cada 12 horas, as órbitas podem representar um RMS com cerca de 1 ... 15 mm, esta deficiência pode ser compensada com espaçamento estocástico a cada 2 horas resultando em um RMS em cerca de 1 ... 2 mm (DACH et al., 2015, p. 154).

5.2.3 Pré-Processamento

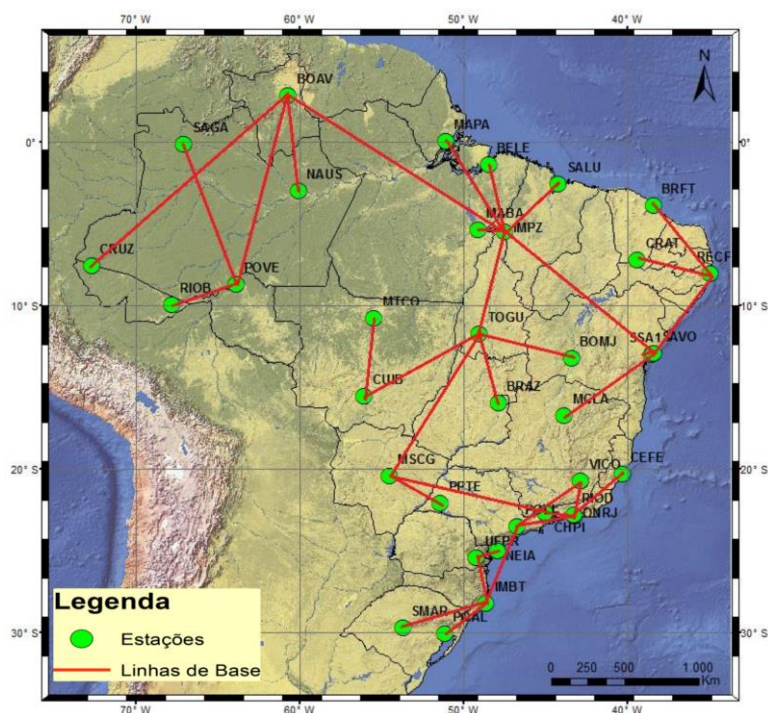
O pré-processamento consiste na transferência das observações RINEX para o formato Bernese (binário), para isto utilizou-se o programa RXOBV3. Neste utilizou-se como entrada o arquivo que contém todas as informações das estações e antenas. Como informações gerais e auxiliares utilizou-se o arquivo PCV o qual possui as informações do centro de fase (extensão I05 e I08), sendo necessário ser atualizado, e o arquivo com a tabela de abreviação (extensão ABB), o qual se utiliza para listar as estações trabalhadas. No programa RXOBV3 definiu-se que seria trabalhado com o sistema de satélites GNSS (GPS/GLONASS). Como resultado gerou-se a atualização das coordenadas, as quais foram utilizadas no programa CODSPP como entrada.

O programa CODSPP foi utilizado para o processamento dos sinais de código para estimativas do erro do relógio dos satélites, sendo este eliminado pelas observações de código. As correções produzem o sincronismo do relógio do receptor com o tempo GPS. Este programa também é utilizado para marcar *outliers* nas observações de código dos satélites que tenham uma elevação menor do que 3°. Neste programa consideraram-se as correções DCB (arquivos mensais) disponibilizado pelo CODE. Ainda para a sincronização do relógio utilizou-se a frequência L_3 sendo a combinação linear de L_1 & L_2 livre do efeito ionosférico. Para estimar os parâmetros do relógio foi escolhida a opção código e fase. Geramos com este programa coordenadas geocêntricas, estimadas para serem utilizadas no programa MAUPRP. No arquivo de saída geral analisou-se a estatística dos satélites GPS e GLONASS para todas as estações, as coordenadas das estações (*a priori* e *posteriori*), os parâmetros do relógio, um resumo da qualidade das observações. Vale ressaltar que a informação mais importante gerada no arquivo de saída é a existência da seguinte mensagem: *CLOCK OFFSETS STORED IN CODE + PHASE*

OBSERVATIONS FILES. Analisou-se para ratificar que as correções dos relógios foram calculadas.

Destaca-se que a técnica de levantamento é posicionamento relativo estático, sendo necessária, antes de iniciar o processamento, a formação das linhas de base entre as estações utilizadas no processamento de seção. Para isto, utilizou-se o programa SNGDIF. O processamento de seção caracteriza-se pelo processamento simultâneo de dados correspondentes a 24 horas das estações utilizadas. O programa criou as linhas de bases através das simples diferenças de fase e armazenou em um arquivo. Ele trabalha com 5 estratégias de processamento para formação das linhas de bases. Para esta pesquisa trabalhou-se com a estratégia OBS-MAX, a qual considera o número máximo de observações simultâneas para formação das linhas de base. Para determinação das linhas de base são geradas todas as combinações possíveis, mas são escolhidas as linhas de base com o maior número de observações comuns. Adicionalmente consideraram-se na formação da linha de base: as observações GNSS, um número mínimo de 600 observações para cada estação e um comprimento máximo de 9000 km. Na Figura 59 apresenta-se um exemplo da criação de linhas de base a partir da estratégia OBS-MAX, utilizou-se a semana GPS 1720, no dia 361 de 2012.

FIGURA 59 - LINHAS DE BASE FORMADAS PELA ESTRATÉGIA OBS-MAX PARA A SEMANA GPS 1720, NO DIA 361 DE 2012



Após a criação das linhas de base, utilizou-se o programa MAUPRP para o pré-processamento de tripla diferença de fase para selecionar as perdas de ciclos. Quando havia perdas de ciclos, o programa corrigia as observações, sendo que, caso as perdas não fossem corrigidas, elas eram removidas por serem consideradas *outliers*. Assim como se determinaram coordenadas por código no programa CODSPR para serem utilizadas como a priori no programa MAUPRP. Neste utilizou-se a tripla diferença de fase para gerar coordenadas, sendo estas utilizadas como referência no processamento do programa GPSEST com dupla diferença de fase.

5.2.4 Processamento

Após a realização de todas as etapas do pré-processamento, eliminando e diminuindo significativamente erros inerentes às observações inicia-se o processamento das observações GNSS, propriamente. Para isto utilizou-se o programa GPSEST que tem como tarefa principal o ajustamento pelo MMQ, sendo este o principal programa utilizado no processamento para obtenção de distintos tipos de parâmetros.

Na estimativa dos parâmetros das coordenadas das estações utilizadas no processamento, os dados de duplas diferenças de fase foram modelados na observável L_3 , com ângulo de elevação maior que 5° e 3' de intervalo de rastreo. Neste processamento tinha-se o objetivo de obter coordenadas *a priori* da dupla diferença de fase e os arquivos de resíduos, não sendo esta a etapa final e sim a de verificação de qualidade dos dados. Utilizou-se como estratégia de correlação a *BASELINE*, a qual foi aplicada para modelar as observações e estimar os parâmetros. As correções dos atrasos troposféricos no zênite em cada estação, função de mapeamento WET GMF, foram estimadas a cada 2 horas, tendo em um dia 12 correções estimadas. O modelo *a priori* da troposfera foi o DRY GMF e as correções foram injuncionadas como 5,0 m (relativa). Nesta etapa pode-se analisar se os receptores são de boa qualidade, e/ou que os dados foram coletados sob condições ruins, ainda pode-se analisar se no pré-processamento os programas utilizados foram executados corretamente. Para ratificação observou-se o RMS *a posteriori* o qual pode variar aproximadamente até 1,5 mm. Ressalta-se que o RMS depende do sigma *a priori* utilizado. Nesta etapa do processamento todas as estações foram injuncionadas com um desvio padrão *a priori* de 0,1 m. Os dados

são trabalhados como pontos flutuantes (ou reais) porque se desconsiderou a correção das ambiguidades.

O programa GPSEST gera um arquivo de resíduos do ajustamento pelo MMQ. Sendo assim, para detecção dos *outliers* utilizou-se o programa RESMRS. Este gera um arquivo o qual contém informações editadas (*.EDT), estas são referentes às observações com *outliers*. Este arquivo é muito importante, pois é utilizado como entrada no programa SATMRK, o qual fornece informações em relação às observações, perdas de ciclos e ambiguidade.

Vale destacar que o programa GPSEST pode ser utilizado para estimativa dos parâmetros locais da troposfera, mas nesta pesquisa utilizou-se o ADDNEQ. Para estimativa utilizou-se as equações normais geradas pelo programa GPSEST ainda sem a identificação e correção de ambiguidades; injuncionou-se as estações com um desvio padrão *a priori* de 1 mm. Utilizou-se para tanto a condição de Injunção Mínima (*Minimum Constraint*). As correções dos atrasos troposféricos no zênite em cada estação foram estimadas a cada 2 horas, tendo em um dia 12 correções estimadas. O gradiente troposférico foi estimado a cada 24 h.

Para resolução das ambiguidades foi utilizado o programa GPSEST. Como haviam linhas de base longas, introduziram-se modelos de Ionosfera, os quais são disponibilizados pelo CODE. Adicionalmente, foram introduzidas correções de carga oceânica, correções de carga atmosférica e arquivos de troposfera estimada. Vale ressaltar que para o ano de 2015 empregaram-se outras duas estratégias: se desconsiderou as correções de carga oceânica e carga atmosférica e a outra estratégia foi substituir os parâmetros de troposfera estimados por dados meteorológicos locais. Nesta etapa não se determinou coordenadas, pois em outra etapa com as ambiguidades já resolvidas, estas serão introduzidas no programa GPSEST para determinação das coordenadas.

As ambiguidades foram resolvidas separadamente para cada linha de base, sendo aplicada a estratégia QIF, a qual utiliza como observáveis L_1 & L_2 . Recomenda-se para a resolução das ambiguidades um ângulo de elevação maior do que 10° e 30 s de intervalo de rastreo. A estratégia de correlação utilizada foi a *BASILINE*, onde cada linha de base é processada sequencialmente e apenas as correlações dentro de cada linha de base são consideradas. Quando as ambiguidades são resolvidas na linha de base, elas são pré-eliminadas do sistema de equações normais, para a resolução da próxima linha de base e assim

sucessivamente. A definição do *Datum* foi realizada fixando a coordenada da primeira estação de cada linha de base.

Após a resolução das ambiguidades para todas as linhas de base utilizou-se novamente, o programa GPSEST, com o objetivo de gerar a solução final para as coordenadas das estações, assim como a sua respectiva MVC. Ressalta-se que as ambiguidades pré-eliminadas não entram como incógnitas no sistema de equações. Para obtenção da solução final, utilizaram-se os coeficientes do *grid* VMF. A observável utilizada foi a L_3 e estratégia de correlação entre as observações na resolução final foi a *CORRECT*. Esta correlação é processada em paralelo e é recomendada para ser utilizada na resolução final, após a correção das ambiguidades, devido à utilização da memória do CPU e o tempo que se leva para processar. Todas as coordenadas das estações foram injuncionadas com um desvio padrão *a priori* de 1 m, ou seja, elas foram injuncionadas fracamente (*coordinates constrained*). Geraram-se as equações normais, as quais foram utilizadas na combinação semanal. Em outro processamento com GPSEST foram geradas um conjunto de coordenadas utilizando as 2 estações IGB08 escolhidas como fiduciais no processamento.

Para realizar a repetibilidade das coordenadas e avaliar a precisão interna do processamento, utilizou-se o programa COMPAR. Sua função principal é calcular a média aritmética de todas as coordenadas das estações utilizadas no processamento e serve para verificar se as coordenadas estão em épocas distintas. Destaca-se que como se utilizou nesta pesquisa as soluções fracamente injuncionadas, os resultados da comparação podem apresentar um RMS maior do que 20 mm, visto que a solução não possui uma forte injunção (IBGE, 2011).

Na solução final, as estações com problema em uma ou mais seções foram identificadas e excluídas utilizando o programa ADDNEQ, antes de todos os parâmetros das estações formarem as equações normais.

5.3 ESTRATÉGIAS PARA OBTENÇÃO DAS SOLUÇÕES SEMANAIS

A combinação das soluções é realizada a partir do ajustamento do MMQ nas equações normais, as quais estimam coordenadas e velocidades para estações. A combinação de soluções GNSS é configurada com dois tipos de soluções: rede livre e rede injuncionada. Nesta pesquisa aplicaram-se as duas configurações. Quando

se trabalha com rede injuncionada podem-se aplicar três estratégias distintas: *minimum constraint*, coordenadas de referência injuncionadas e coordenadas fixadas.

A solução de rede livre é ajustada a partir de fracas injunções, permitindo assim, a estimativa de parâmetros de transformação, cálculo de coordenadas e velocidades, entre a solução GNSS e o sistema de referência, como por exemplo, IGB08. A solução de rede injuncionada consiste na ponderação das coordenadas e velocidades *a priori* das estações de referência (estações injuncionadas).

Ressalta-se que na solução de rede injuncionada precisa-se tomar algumas precauções devido às duas principais inconsistências (GREGORIUS, 1996; COSTA 1999), fixando ou injuncionando fortemente no mínimo três coordenadas, resultará em um pequeno deslocamento na origem do sistema de solução relativamente ao geocentro, sendo este a origem adequada para qualquer sistema de referência terrestre; e os erros existentes em alguma estação de referência serão propagados para a solução como um todo.

A solução de *minimum constraint* injunciona fracamente as coordenadas de referência, permitindo assim, a determinação de coordenadas, definição do *Datum* e aplicar as condições de translação, rotação e fator de escala. A solução de coordenadas injuncionadas é ajustada a partir de uma ponderação nas coordenadas e velocidades *a priori* das estações de referência, ou seja, é adicionado um peso às estações injuncionadas. Vale destacar que os resultados obtidos com a estratégia rede livre e coordenadas injuncionadas são quase os mesmos, diferenciando-se na ordem do milímetro. A solução de coordenadas fixadas é ajustada a partir da fixação das coordenadas deixando apenas flutuante a coordenada da estação que se quer determinar. Ressalta-se que esta solução de rede injuncionada é a menos acurada. Mais detalhes podem ser vistos em Dach et al. (2015).

Nesta pesquisa utilizou-se a solução com a condição de *minimum constraint*, onde as coordenadas de referência foram injuncionadas fracamente para que as inconsistências apresentadas por Gregorius (1996) e Costa (1999) não ocorressem. Destaca-se que as vantagens de utilizar *minimum constraint* são as de: sua solução é obtida a partir de três translações, os erros nas coordenadas de referência são pequenos e não distorce a geometria da rede. Segundo Dach et al. (2015) essa condição é a mais recomendada para se obter as soluções finais.

Diante dos pontos levantados anteriormente, destaca-se que se utilizou o ADDNEQ para realizar a combinação das soluções diárias e obter as coordenadas, assim como estimar as velocidades e os efeitos da troposfera. Os procedimentos sequenciais realizados pelo *minimum constraint* independem das observações diárias, por isto, é necessário armazenar nas equações normais as coordenadas com suas respectivas MVC.

As condições de *minimum constraint* partem do pressuposto do relacionamento entre dois conjuntos de coordenadas referidos a dois sistemas distintos: um sistema de referência *a priori* X e o sistema das coordenadas resultantes \tilde{X} . Sendo assim, para cada solução diária s , em cada estação i , obtém-se coordenadas representadas pelo vetor \tilde{X}_s^i na época t_s e velocidade \dot{X}_s^i expressa em um determinado sistema de referência terrestre.

Os dois sistemas podem ser relacionados pela transformação de similaridade, como mostra a equação (55):

$$\tilde{X} = (1 + \mu)[R]X + [T] \quad (55)$$

Na equação (55), $[T]$ é a matriz da translação, $(1+\mu)$ é o fator de escala e $[R]$ é a matriz ortogonal que rotaciona os sistemas X para \tilde{X} , ela também é denominada de Matriz *Cardan*, onde os ângulos $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$ são pequenas rotações ($\cos \varepsilon_i = 1$ e $\sin \varepsilon_i \approx \varepsilon_i$) respectivamente em torno dos eixos X , Y e Z . Sendo assim a matriz pode ser escrita de forma linearizada para os ε_i como se apresenta na equação (56):

$$\begin{bmatrix} \tilde{X}_i \\ \tilde{Y}_i \\ \tilde{Z}_i \end{bmatrix} = (1 + \mu) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (56)$$

Da equação (56) pode-se escrever a equação de rotação, então $[R]$ é dado pela equação (57):

$$[R] = [\varepsilon]^t + [I] \quad (57)$$

Na equação (57), $[\varepsilon]^t$ é a matriz de rotação transposta dada pelas componentes da equação (58) e $[I]$ é a matriz identidade.

$$[\varepsilon]^t = \begin{bmatrix} 0 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 0 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 0 \end{bmatrix} \quad (58)$$

Na equação (58), ε_x , ε_y e ε_z são as rotações dos eixos cartesianos. Sendo assim, a equação (56) pode ser reescrita na equação (59):

$$\begin{bmatrix} \tilde{X}_i \\ \tilde{Y}_i \\ \tilde{Z}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_i & Y_i & X_i \\ 0 & 1 & 0 & Z_i & 0 & -X_i & Y_i \\ 0 & 0 & 1 & -Y_i & X_i & 0 & Z_i \end{bmatrix} [\Delta X \quad \Delta Y \quad \Delta Z \quad \varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \mu]^T \quad (59)$$

A equação (59) pode ser escrita como vetor, como apresentado na equação (60):

$$\tilde{X}_i = X_i + A_i \xi \quad (60)$$

Destaca-se na equação (60) que A_i é a matriz composta pelas coordenadas de cada solução s , assumindo a forma apresentada na equação (59). Ressalta-se que a dimensão da matriz A é dada em função do número de soluções diárias e dos parâmetros de transformação (7 ou 14), ou seja ela é composta pelas coordenadas de cada solução. E ξ é a matriz dos parâmetros de transformação que podem ser 7 ou 14 parâmetros $(t_x, t_y, t_z, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z \text{ e } s)$ ou $(t_x, t_y, t_z, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, s, \dot{t}_x, \dot{t}_y, \dot{t}_z, \dot{\varepsilon}_x, \dot{\varepsilon}_y, \dot{\varepsilon}_z \text{ e } \dot{s})$ respectivamente. Quando se calcula os parâmetros de transformação, reescreve-se a equação (60), na equação (61), como equação de observação:

$$\vartheta = A\xi - (\tilde{X} - X) \quad (61)$$

Observa-se na equação (61) que $\tilde{X} - X$ é a diferença entre o valor estimado e o *a priori*, dado na equação (62).

$$\tilde{X} - X = p \quad (62)$$

Reescrevendo as equações (61) e (62) resultam no seguinte sistema de equação normal, equação (63):

$$A^T A \xi = A^T p \quad (63)$$

Da equação (63), obtém-se a equação (64), a qual é utilizada para calcular os 7 (ou 14) parâmetros de transformação.

$$\xi = (A^T A)^{-1} A^T p \quad (64)$$

Considerando a matriz dos pesos P a qual é dada por Σ_n^{-1} , sendo Σ_n a MVC de cada solução diária, então as equações normais dadas pela equação (64), podem ser reescritas para um sistema de observações ($n = 1, 2, \dots, s$) como na equação (65):

$$\xi = (A_n^T \Sigma_n^{-1} A)^{-1} (A_n^T \Sigma_n^{-1} L_n) \quad (65)$$

Destaca-se que as soluções diárias foram fracamente injuncionadas ao determinar o arquivo semanal e as coordenadas. Neste processo é definido o *Datum* geodésico o qual se aplica apenas as condições de translação. Para as estações de referência foram adotados valores *a priori* em velocidades e para as coordenadas, segundo solução do IGS05, IGS08 e IGb08.

A combinação das coordenadas na solução final estão referidas ao *Datum* Geodésico IGb08 e a época é referida a data de processamento, por possuir coordenadas e velocidades para duas estações pertencentes à RBMC. As velocidades são geradas a partir da propagação de resultados das coordenadas, obtidas em épocas distintas, não havendo uma época fixa para essas, ou seja, o sistema de referência das velocidades finais é IGb08 sem definição de época.

Vale ressaltar que diante dos subitens apresentados neste capítulo, evidencia-se que as informações foram organizadas de forma que se consiga identificar os aspectos referentes ao movimento da crosta.

5.4 CRIAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS DO PROCESSAMENTO GNSS

Para criação das séries temporais de cada estratégia definida, relacionada à Tabela 23, utilizaram-se os resultados obtidos das soluções semanais, as quais foram combinadas a partir dos 7 dias de processamento, onde se reduziu ao dia médio de cada semana GPS. A partir das séries é possível analisar os problemas que ocorreram no período de observação das estações, avaliar o comportamento geodinâmico local e determinar a velocidade. Destaca-se que se processou aproximadamente 420 *Gigabytes* de dados brutos gerando 1,2 *Terabytes* de informações. Como se obteve para cada semana 2200 arquivos, foi preciso criar e definir um método para leitura dos dados e para geração das séries temporais.

Vale mencionar que foi preciso gerar várias séries temporais utilizando distintas informações. Para o ano de 2015 foram geradas séries temporais utilizando dados meteorológicos locais para realizar a comparação com os dados troposféricos estimados, assim como se realizou a comparação entre a utilização das correções de carga atmosférica e oceânica com uma série sem a utilização destas correções. Para cada série temporal foram consideradas 53 semanas GPS.

Como um dos objetivos desta pesquisa é a determinação da evolução da posição geocêntrica do marégrafo de Imbituba através de rastreios GNSS. No caso para a estação IMBT, processou-se 435 semanas GPS visando gerar uma série temporal com mais de 5 anos, onde os dados vão da época de 5 de setembro de 2007 a 2 de janeiro de 2016. Vale ressaltar que o processamento foi possível devido às estações que fazem parte da RBMC serem de monitoramento contínuo.

Os resultados possuíam muitas informações a serem analisadas, como: velocidade das estações, parâmetro de transformação do processamento, parâmetro de translação de época, *qui-quadrado* utilizado para análise da dispersão dos resultados, variação das estações utilizadas como de referência, entre outras informações.

Para geração das séries temporais foi preciso criar um *script* em linguagem *Python* para facilitar a leitura dos dados processados que se encontravam nos distintos formatos do Bernese, para um formato que facilitasse a plotagem e criação de séries temporais.

Esse *script* foi desenvolvido em uma estrutura de diretórios e separado em parametrização e configuração, bem como o armazenamento do *script* executável

em si, e o armazenamento das informações das séries temporais geradas. Assim foram criados 4 (quatro) diretórios, sendo eles: PARÂMETROS onde foram armazenados os arquivos de parametrização; READ para armazenar o arquivo de configuração; PYTHON para conter o arquivo de execução do *script* e o RESULT para armazenar os arquivos gerados pela execução do *script*.

Para cada tipo de leitura dos arquivos processados do Bernese era necessário criar um arquivo específico de parâmetro (informações específicas de cada arquivo). A estrutura do arquivo de parâmetro era dividida na seguinte forma:

- Caminho dos Arquivos: Parâmetro que definia o diretório de arquivo contendo os arquivos de processamento a serem lidos.
- Prefixo dos Arquivos: Parâmetro que definia quais os arquivos que seriam lidos pelo *script* de acordo com o prefixo dos arquivos processados do Bernese, como por exemplo: ADDID, HECC, VEL entre outros.
- Leitura de Linhas: Quando era necessário analisar informações no formato de linhas, esse parâmetro tinha que estar informado. Para cada linha que deveria ser lida era necessário informar o prefixo da linha, caso o dado da linha estivesse em formato fixo, era necessário também informar onde se iniciavam e terminavam os caracteres que seriam lidos para aquela determinada linha.
- Leitura de Tabelas: No processo de leitura de tabelas, assim como no de linha era preciso informar o parâmetro de tabela. Para cada tabela era necessário informar no cabeçalho da tabela onde se iniciava a tabela, assim como a linha de término da tabela, ou seja, o delimitador final de leitura da tabela. Para cada coluna da tabela também se fazia necessário informar o início e término de leitura de caracteres para aquela coluna específica.
- Outros parâmetros eram opcionais, como parâmetros de informação do tipo de limpeza que o *script* iria fazer nas linhas ou tabelas, nomes de saída para linhas, tabelas e colunas das tabelas, bem como nome e formato de saída dos arquivos resultantes para geração das séries temporais. Destaca-se que o *script* de parametrização foi definido no formato *.json.

O arquivo de parâmetro contido no diretório READ continha o nome do arquivo de parametrização que o *script* utilizava para execução, já que diversos

arquivos de parâmetros poderiam ser criados. Este arquivo era no formato texto e tinha sua extensão como **.config*.

O *script* de execução contido no diretório PYTHON primeiramente realizava a leitura do arquivo **.config* para posteriormente ler o arquivo de parâmetro especificado, para desta forma aplicar na sua execução os parâmetros definidos, e executar a leitura dos arquivos processados no Bernese, gerando as informações para séries temporais de acordo com os parâmetros pré-definidos. Adicionalmente aplicaram-se funções de limpeza e transformações dos dados que foram criadas dentro do *script*. Por fim o *script* gravava as séries temporais no formato **.CSV* ou **.XLS* no diretório RESULT.

Na realização da análise das séries temporais utilizou-se o *software* especialista em *Business Intelligence Tableau* (obteve-se o licenciamento de estudante), uma vez que este é essencial para se trabalhar com arquivos com mais de 1 milhão de linhas. A série temporal completa (435 semanas GPS) possuía mais de 1 milhão de linhas e se precisava utilizar um *software* que facilitasse na leitura, na plotagem e na análise dos resultados. Para as séries temporais menores utilizou-se o *Microsoft Excel*, pois estavam nos limites da quantidade de linhas que podiam ser lidas e analisadas, utilizando este.

5.5 MODELOS DE VELOCIDADES

Neste subitem serão mostrados os resultados com a aplicação do modelo de velocidade adotado pelo SIRGAS, mostrando a comparação da primeira versão e sua atualização. Ressalta-se que estes foram utilizados para verificar as velocidades das estações utilizadas no processamento das observações GNSS. Também, utilizaram-se modelos de velocidade geológico e geofísico, os quais foram mencionados no subitem 2.8.

5.5.1 Modelo de Velocidade SIRGAS

Na Figura 60 apresenta-se a direção e sentido das velocidades das estações trabalhadas nesta pesquisa, as quais fazem parte da RBMC e pertencentes à Rede SIRGAS-CON. As velocidades foram obtidas a partir do emprego do VEMOS2009 e do VEMOS2015.

FIGURA 60 - DIREÇÃO E SENTIDO DA VELOCIDADE DAS ESTAÇÕES PERTENCENTES À RBMC.

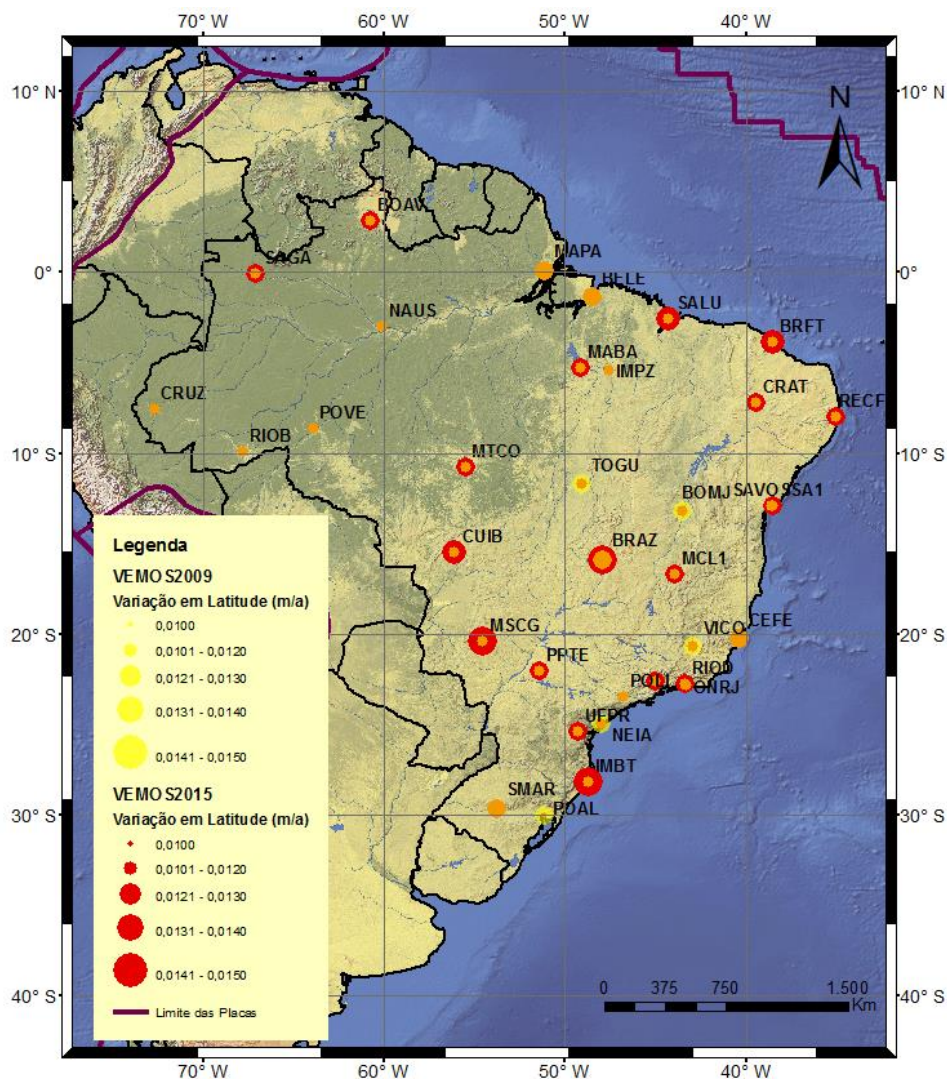


Conforme pode ser observado, as velocidades de todas as estações seguem direções, sentidos e magnitudes próximas. Isto se deve ao fato de que o Brasil está localizado em uma parte estável na placa Sul-americana, de baixa atividade sísmica. O comportamento diverge da velocidade das estações que ocupam regiões de deformação na placa Sul-Americana daquele apresentado para as estações brasileiras. Não sendo adequada a utilização do modelo VEMOS para locais com deformações ou com grandes atividades sísmicas. O VEMOS2009 é um modelo que se recomenda apenas para obter as variações das coordenadas horizontais ao longo do tempo. Sua atualização o VEMOS2015, já possui a velocidade da componente altimétrica das estações.

Pode-se observar na Figura 60, que as velocidades com aplicação do VEMOS2015, têm uma diferença em relação à aplicação do VEMOS2009. Ressalta-se que o VEMOS2015 foi desenvolvido após o terremoto de Maule no Chile em 2010, o qual afetou o comportamento das velocidades horizontais na Placa SOAM, como é apresentado nas Figuras 61 e 62.

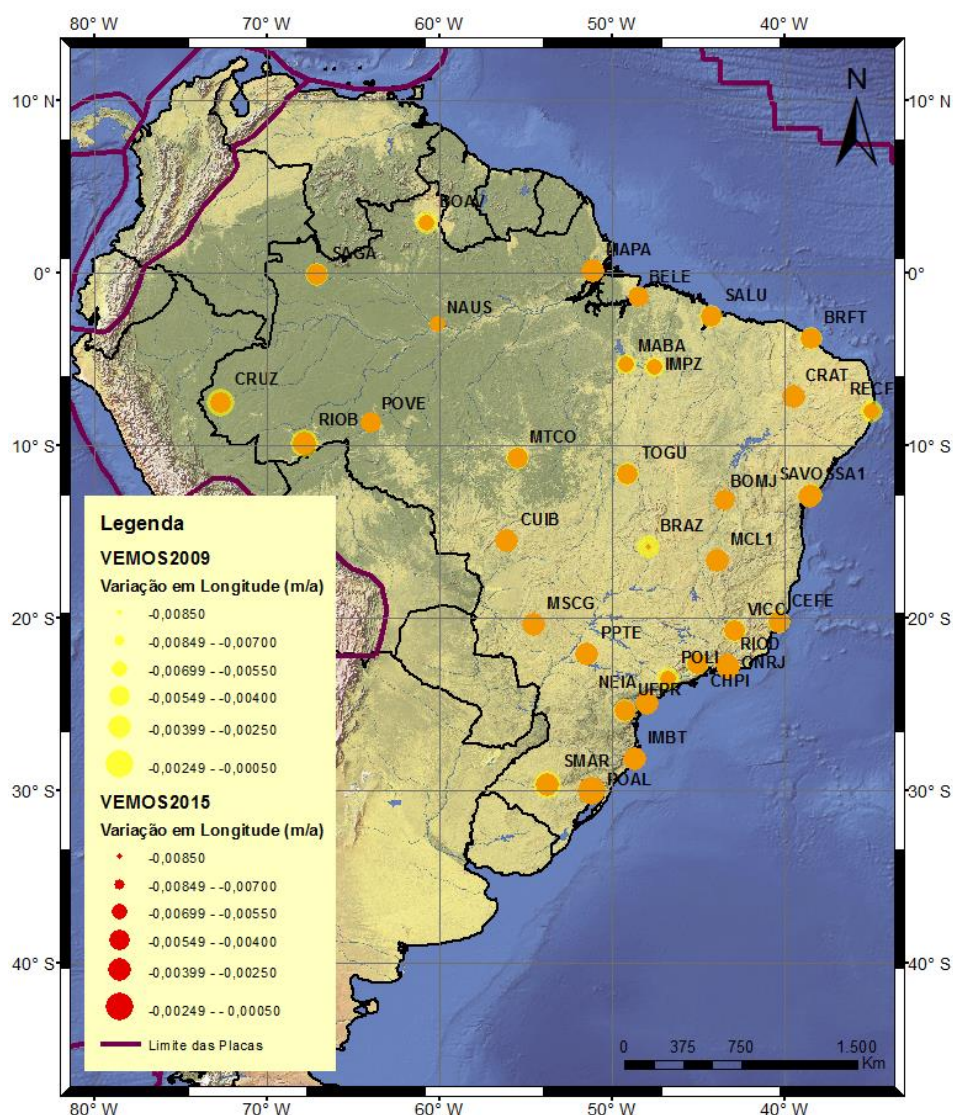
No Brasil, mesmo as velocidades das estações tendo praticamente mesma direção, sentido e magnitude, a taxa de variação da velocidade é distinta de região para região, tanto para latitude como longitude. Na Figura 61 apresenta-se a variação da velocidade em latitude, a qual mostra a diferença que há com a utilização do VEMOS2009 e com o VEMOS2015. Mais detalhes do desenvolvimento do VEMOS2015 podem ser visto em Sánchez e Drewes (2016b).

FIGURA 61 - VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM LATITUDE COM A UTILIZAÇÃO DO VEMOS2009 E VEMOS2015



Da análise da Figura 61, evidencia-se que houve variação da velocidade em latitude. Mas, observa-se que, algumas estações não sofreram variações na velocidade da latitude (pontos em laranja).

FIGURA 62 - VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM LONGITUDE COM A UTILIZAÇÃO DO VEMOS2009 E VEMOS2015



Analisando a Figura 62, evidencia-se que houve variação da velocidade em longitude. Vale ressaltar que a variação da longitude não considerou o valor em módulo. Mas, observa-se que, algumas estações não sofreram variações na velocidade da longitude (pontos em laranja). A Tabela 29 apresenta as velocidades da latitude e da longitude e as variações para as estações trabalhadas entre o VEMOS2009 e o VEMOS2015.

TABELA 29 - DIFERENÇAS DA VARIAÇÃO EM LATITUDE E EM LONGITUDE OBTIDAS COM A COMPARAÇÃO DO VEMOS2009 E VEMOS2015

Continua

Estação	VEMOS 2009		VEMOS 2015		VARIAÇÕES	
	Vel _{lat} (m/a)	Vel _{long} (m/a)	Vel _{lat} (m/a)	Vel _{long} (m/a)	Vel _{lat} (mm/a)	Vel _{long} (mm/a)
BELE	0,0125	-0,0045	0,013	-0,0052	0,5	-0,7
BOAV	0,0115	-0,0033	0,0122	-0,0055	0,7	-2,2
BOMJ	0,0126	-0,004	0,012	-0,0053	-0,6	-1,3
BRAZ	0,0123	-0,0037	0,0144	-0,0085	2,1	-4,8
BRFT	0,0118	-0,0036	0,0139	-0,0045	2,1	-0,9
CEFE	0,0122	-0,0039	0,0123	-0,0041	0,1	-0,2
CHPI	0,0117	-0,0034	0,0125	-0,0042	0,8	-0,8
CRAT	0,0117	-0,0032	0,0124	-0,0026	0,7	0,6
CRUZ	0,0116	-0,001	0,0105	-0,004	-1,1	-3
CUIB	0,012	-0,0035	0,0135	-0,0039	1,5	-0,4
IMBT	0,012	-0,0026	0,0142	-0,0038	2,2	-1,2
IMPZ	0,0119	-0,0041	0,0116	-0,0067	-0,3	-2,6
MABA	0,012	-0,004	0,013	-0,0057	1	-1,7
MAPA	0,0122	-0,0037	0,0122	-0,0038	0	-0,1
MCL1	0,0119	-0,0033	0,0123	-0,0033	0,4	0
MSCG	0,012	-0,0025	0,0142	-0,0033	2,2	-0,8
MTCO	0,0119	-0,0032	0,0125	-0,005	0,6	-1,8
NAUS	0,0112	-0,0055	0,0103	-0,0062	-0,9	-0,7
NEIA	0,0122	-0,0031	0,0107	-0,0035	-1,5	-0,4
ONRJ	0,0118	-0,0039	0,0114	-0,0033	-0,4	0,6
POAL	0,0122	-0,0019	0,0098	-0,0022	-2,4	-0,3
POLI	0,0117	-0,0033	0,0113	-0,0055	-0,4	-2,2
POVE	0,0102	-0,0043	0,0118	-0,004	1,6	0,3
PPTE	0,012	-0,0026	0,0121	-0,0039	0,1	-1,3
RECF	0,0117	-0,0031	0,0126	-0,0064	0,9	-3,3
RIOB	0,012	-0,0011	0,0113	-0,0028	-0,7	-1,7
RIOD	0,0119	-0,0038	0,0128	-0,0032	0,9	0,6
SAGA	0,0113	-0,0029	0,0122	-0,0047	0,9	-1,8
SALU	0,0118	-0,0038	0,0131	-0,0044	1,3	-0,6
SAVO	0,0118	-0,0032	0,0125	-0,0048	0,7	-1,6
SMAR	0,0122	-0,0019	0,0121	-0,0031	-0,1	-1,2
SSA1	0,0118	-0,0032	0,0108	-0,0033	-1	-0,1
TOGU	0,0121	-0,0036	0,0116	-0,0047	-0,5	-1,1

Conclusão					
Estação	VEMOS 2009		VEMOS 2015		VARIAÇÕES
	Vel _{lat} (m/a)	Vel _{long} (m/a)	Vel _{lat} (m/a)	Vel _{long} (m/a)	Vel _{lat} (m/a) Vel _{long} (m/a)
UFPR	0,012	-0,0029	0,0121	-0,0042	0,1 -1,3
VICO	0,0123	-0,0036	0,0115	-0,004	-0,8 -0,4

Observa-se na Tabela 29 que a estação IMBT apresenta uma variação em latitude de 2,2 mm/ano e uma variação em longitude de -1,2 mm/ano comparando a velocidade antes e após o Terremoto em Maule. A estação de BRAZ apresenta fortes variações em latitude de 2,1 mm/ano e em longitude de -4,8 mm/ano. Sendo que POAL foi à estação que apresentou a maior variação em latitude (-2,4 mm/ano). A estação IMBT é o objeto de estudo desta pesquisa, sendo assim, destaca-se na Tabela 30 os resultados das velocidades a partir do Modelo VEMOS2009 e VEMOS2015 e a estimativa via processamento GNSS apenas para esta estação.

TABELA 30 - VELOCIDADES DERIVADAS DO VEMOS2009, VEMOS2015 E DO PROCESSAMENTO PARA ESTAÇÃO IMBT

Modelo	V _{Lat} (mm/a)	V _{Long} (mm/a)	h(mm/a)	V _x (mm/a)	V _y (mm/a)	V _z (mm/a)
VEMOS2009	12,00	-2,60	-	1,80	-6,00	10,60
VEMOS2015	14,20	-3,80	-3,40	-0,37	-5,30	14,14
Processamento	16,18	-3,87	-3,02	-0,39	-5,69	12,56

Analisando as velocidades derivadas dos modelos VEMOS e as estimadas pelo processamento GNSS verifica-se que ambas são próximas. Analisando o processamento realizado no Bernese 5.2, observa-se que há uma subsidência na componente altimétrica da estação IMBT de -3,02 mm/ano.

5.5.2 Modelo de Velocidade Geológico e Geofísico

No subitem 5.5.1 foram apresentados os resultados do campo das velocidades para as estações pertencentes à RBMC utilizando o modelo VEMOS2009 e VEMOS2015, as quais estão localizadas na placa SOAM. Destaca-se que poucos estudos são desenvolvidos na placa SOAM, mais especificamente no Brasil, por este estar localizado na região estável da placa. Vale destacar que a

Universidade de Brasília (UNB) faz estudos sobre a estabilidade das estações na América do Sul, principalmente no Brasil.

O NNR-NUVEL 1A é o modelo cinemático para a crosta terrestre, baseado em informações geofísicas e geológicas, onde se considera uma variação linear das coordenadas ao longo do tempo. Ele apenas representa placas rígidas e não inclui zonas de deformação, tal como, por exemplo, os Andes (DE METS et al., 1990; DE METS et al., 1994; DREWES e HEIDBACH, 2012). Em contrapartida o APKIM2000 e sua atualização o APKIM2008 são baseados em observações VLBI, SLR e GNSS (DREWES, 1998; DREWES e MEISEL, 2003; SÁNCHEZ e DREWES, 2016b).

As velocidades geradas pelo NNR-NUVEL1A servem como aproximação para propagar as coordenadas da estação a partir da época de referência. Destaca-se que a partir do conjunto de vetores de velocidades das estações da RBMC obtidos do NNR-NUVEL-1A, estimaram-se os elementos definidores do movimento da placa SOAM. Com este conjunto pode-se realizar algumas análises e comparações, onde se utilizará os vetores de rotação da placa SOAM do APKIM2008, calculado por Sánchez e Drewes (2016b). Adicionalmente será utilizado o processamento das observações das estações trabalhadas para se calcular os vetores de rotação da placa SOAM para esta pesquisa. Ressalta-se que para realizar o cálculo destes parâmetros utilizaram-se as equações (44), (45) e (46) e suas respectivas inversas. O campo de velocidade estimado no processamento é comparado com as velocidades obtidas pelos modelos do NNR-NUVEL1A e APKIM2008, como se apresenta na Figura 63. Na Tabela 31 apresentam-se os vetores de rotação da placa SOAM advindos dos modelos NNR-NUVEL1A, APKIM2008 e os calculados. Na Tabela 32 apresentam-se os vetores de rotação da placa SOAM.

TABELA 31 - COMPARAÇÃO ENTRE OS VETORES DE ROTAÇÃO DA PLACA SOAM

Modelo	Placa	Δx (s/MA ^(*))	Δy (s/MA)	Δz (s/MA)
NNR-NUVEL-1A	SOAM	-0,060	-0,087	-0,050
APKIM 2008	SOAM	-0,231	-0,367	-0,153
CALCULADO	SOAM	-0,157	-0,112	-0,089

(*) MA = Milhões de anos

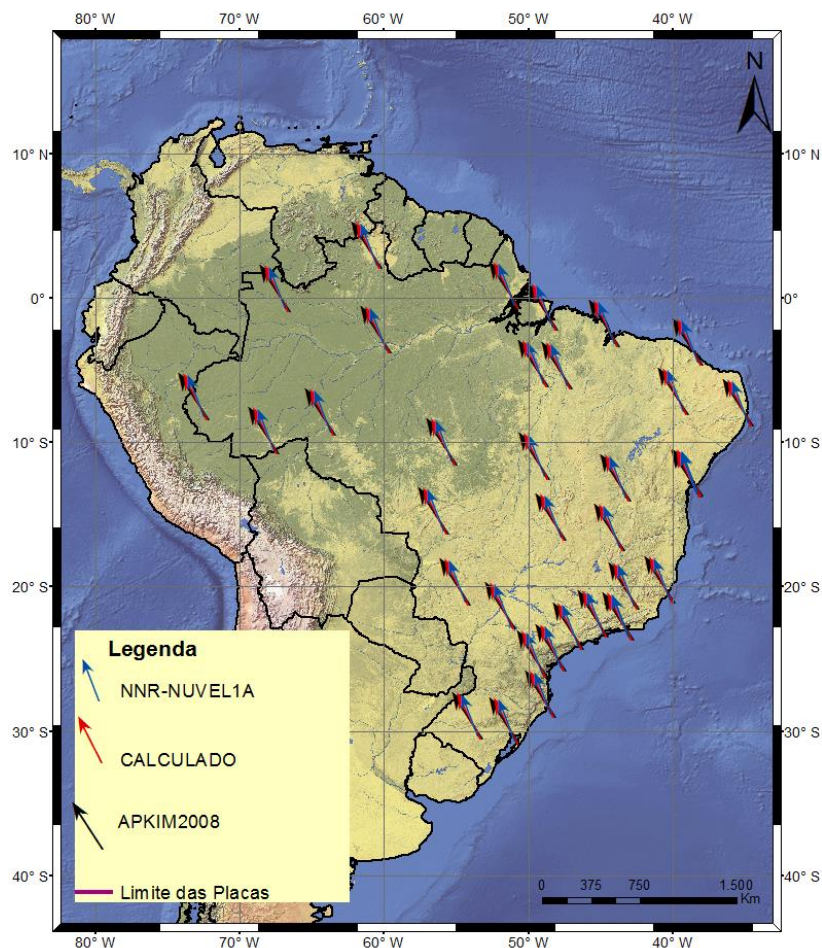
Destaca-se que os valores calculados nas Tabelas 31 e 32 derivados das velocidades das estações utilizadas no processamento, representam de forma mais realística o movimento das estações brasileiras, assim como os resultados para Imbituba, os quais foram obtidos do processamento e os calculados, Tabelas 30 e 33, respectivamente.

TABELA 32 - COMPARAÇÃO ENTRE OS VETORES DE ROTAÇÃO DA PLACA SOAM EM COORDENADAS ESFÉRICAS

Modelo	Placa	Φ°	Λ°	$\frac{\Omega^{\circ}}{MA}$
NNR-NUVEL1A ⁽¹⁾	SOAM	-25,24	235,57	0,1164
APKIM2008 ⁽²⁾	SOAM	-19,4	237,80	0,4600
CALCULADO	SOAM	-24,80	215,64	0,2126

FONTE: ⁽¹⁾ De Mets et al.(1994); Drewes (1998); Drewes e Meisel (2003); ⁽²⁾ Sánchez e Drewes (2016b).

FIGURA 63 - REPRESENTAÇÃO DO VETOR RESULTANTE DA VELOCIDADE, COMPARAÇÃO DERIVADA DOS MODELOS NNR-NUVEL1A, APKIM2008 E VALORES CALCULADOS.



Observa-se na Figura 63 que as estações obtidas com diferentes modelos e com a solução geodésica, têm direções, sentidos e magnitudes similares. Estas também apresentam comportamentos similares com os campos de velocidades gerados utilizando-se o VEMOS2009 e VEMOS2015. Na Tabela 33 apresentam-se as velocidades das componentes obtidas dos modelos NNR-NUVEL1A, APKIM2008 e as calculadas para a estação de Imbituba, utilizando o IGB08 e os parâmetros apresentados nas Tabelas 31 e 32.

TABELA 33 - COMPONENTES DAS VELOCIDADES A PARTIR DO NNR-NUVEL1A, APKIM2008 E A SOLUÇÃO CALCULADA PARA ESTAÇÃO IMBT

Modelo	$V_{Lat}(mm/a)$	$V_{Long}(mm/a)$	$V_x(mm/a)$	$V_y(mm/a)$	$V_z(mm/a)$
NNR-NUVEL1A	10,20	-3,57	0,850	-6,37	10,01
APKIM2008	41,61	-8,68	4,562	-12,61	23,40
Calculado	19,20	-9,95	-0,39	-8,02	10,80

5.6 MODELO DA IONOSFERA

A ionosfera abrange a região de 60 a 1000 km acima da superfície da Terra, aproximadamente. Ela se comporta de forma anômala, onde a refração ionosférica se torna dependente da frequência do sinal transmitido (DOS SANTOS PROL, 2015). A refração ionosférica é definida entre a distância medida e a distância geométrica, entre o satélite e o receptor (MONICO, 2008). Destaca-se que essa definição é empregada quando se considera apenas a influência da ionosfera, desprezando os outros efeitos que interferem na propagação do sinal GNSS.

Segundo Perez (2002), o efeito de refração é proporcional ao Conteúdo Total de Elétrons (TEC - *Total Electrons Contents*), ou seja, ao número total de elétrons presentes ao longo do caminho percorrido pelo sinal entre o satélite e o receptor. Camargo (1999, p.28) destaca que o TEC varia no tempo e no espaço, devido às distintas influências, tais como: fluxo de ionização solar, atividade magnética, ciclo de manchas solares, estação do ano, localização do usuário e direção do raio vetor do satélite.

Os efeitos da refração ionosférica podem ser eliminados ou modelados, com o uso de modelos da ionosfera, com a combinação de observáveis GPS tais como, pseudodistância ou fase da onda portadora, assim como ambas (CAMARGO, 1999).

Destaca-se que quando se trabalha com linhas de base longas é conveniente o uso de modelos de Ionosfera, assim como a utilização da frequência L_3 . Nesta pesquisa utilizou-se o modelo global disponível e determinado pelo CODE (<ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>), adicionalmente com a combinação linear livre de ionosfera entre as duas frequências L_1 & L_2 . Salienta-se que essa combinação não é recomendada quando se trabalha com linhas de base curtas, devido a deterioração na relação sinal/ruído se tornar grande. O modelo de ionosfera foi empregado para determinação dos resíduos das coordenadas, para resolução das ambiguidades e para solução final. A utilização é realizada no processamento diário, a fim de determinar coordenadas mais precisas, as quais são utilizadas no processamento semanal.

No Bernese pode-se determinar o modelo de ionosfera local, através do programa IONEST. Este é utilizado no GPSEST na resolução de ambiguidades ou para reduzir o fator de escala causado pelo efeito da refração ionosférica. Destaca-se que este programa é recomendado quando não se processa as observações com a combinação L_3 .

5.7 MODELO DA TROPOSFERA E DADOS METEOROLÓGICOS

Assim como os modelos de Ionosfera são importantes para quando se trabalha com linhas de base longas e com observações GNSS, a modelagem da refração troposférica a partir da estimativa de parâmetros de troposfera é importante. Sendo que quando não se calcula os parâmetros de troposfera, podem-se utilizar dados meteorológicos locais, os quais serão discutidos a seguir neste subitem.

A troposfera ocasiona dois grandes atrasos. O primeiro é gerado pela influência da atmosfera hidrostática, principalmente pela influência do nitrogênio e do oxigênio. O segundo efeito é ocasionado pela atmosfera úmida, ou seja, pela influência do vapor d'água (SPILKER Jr, 1996, p. 524). Assim, tem-se o atraso troposférico dividido em atraso da componente hidrostática (T_{zh}) e atraso da componente úmida (T_{zw}), devido ao comportamento irregular dos gases hidrostáticos e do vapor d'água. Modelos desenvolvidos com informações de pressão, temperatura e umidade relativa do ar podem ser utilizados para minimizar os efeitos troposféricos nos sinais GNSS. Para modelar na direção zenital e a

elevação do satélite utilizam-se as funções de mapeamento para os T_{zh} e T_{zw} , como se apresenta em Boehm et al. (2006a), equação (66):

$$T_r^S = T_{zh}m_h(e) + T_{zw}m_w(e) \quad (66)$$

Na equação (66), T_{zh} é o atraso troposférico hidrostático, T_{zw} é o atraso troposférico úmido, $m_h(e)$ e $m_w(e)$ são funções de mapeamento hidrostática e úmida, respectivamente e “e” é o ângulo de elevação do satélite. Da equação (66), destaca-se que $m_h(e)$ e $m_w(e)$ são as funções de mapeamento obtidas a partir da equação (67), (BOEHM e SCHUH, 2004):

$$m_f(e) = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1 + c}}}{\text{sen}(e) + \frac{\frac{a}{\text{sen}(e) + \frac{b}{\text{sen}(e) + c}}}{\text{sen}(e) + c}} \quad (67)$$

Destaca-se que assim como o *Niell Mapping Function* (NMF), o *Global Mapping Function* (GMF) e o *Vienna Mapping Function* (VMF) utilizam a equação (67). Na equação (67), “e” é a elevação e a, b e c são coeficientes que dependem da latitude e dos dias do ano, os quais possibilitam determinar o atraso troposférico, $m_f(e)$ está representando as funções de mapeamento $m_h(e)$ e $m_w(e)$ (BOEHM et al., 2006b). Nesta pesquisa utilizou-se a função de mapeamento GMF e VMF, as quais foram desenvolvidas pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) e são baseadas em dados climáticos e em modelos de previsão de tempo, respectivamente. Vale ressaltar que o GMF e VMF determinam os coeficientes “b” e “c” de forma empírica a partir da *Isobaric Mapping Function* (IMF). Os coeficientes “a” do GMF são obtidos por expansão dos parâmetros do VMF, enquanto que para o VMF os coeficientes “a” são determinados com base na técnica de *ray-tracing* e de modelos numéricos de previsão do tempo (BOEHM et al., 2006b).

Destaca-se que o coeficiente “a” é formado pelas componentes hidrostáticas (ah) e úmidas (aw). Sendo estas os valores de T_{zh} e T_{zw} disponíveis diariamente em um grid global de 2 X 2,5 graus (latitude x longitude), a cada 6 horas, ou seja 0h,

6h, 12h e 18h (TU). Para utilizar o grid como entradas no Bernese foram renomeados os arquivos, identificando-os com as semanas GPS. Os arquivos apresentam os formatos H00, H06, H12, H18, sendo necessário concatená-los em um único arquivo. Porém, para utilizar o grid como entrada no Bernese era necessário um quinto arquivo, então sempre se utilizou a hora zero do dia seguinte, como indica Dach et al. (2015), e com os 5 arquivos gerava-se um único arquivo no formato *.GRD.

Segundo Dach et al. (2015, p. 699), a diferença entre as funções de mapeamento VMF e GMF são tão pequenas que no pré-processamento pode-se utilizar o modelo de troposfera GMF e apenas utilizar o VMF na solução final. Destaca-se que nesta pesquisa o Dry_GMF foi utilizado para realizar a redução da carga dos efeitos troposféricos *a priori* e o Wet_GMF foi utilizado para estimar os parâmetros do atraso troposférico. Na solução final do processamento diário foi adicionado o *grid* de coeficientes do VMF, para estimar os parâmetros finais de troposfera, os quais são utilizados como entrada na repetição do processamento após resolver as ambiguidades e para gerar os arquivos das soluções semanais. Destaca-se que os parâmetros de troposfera sempre são estimados quando as seções de processamento são maiores que 1 hora, ou quando se trabalha com rede regional ou global.

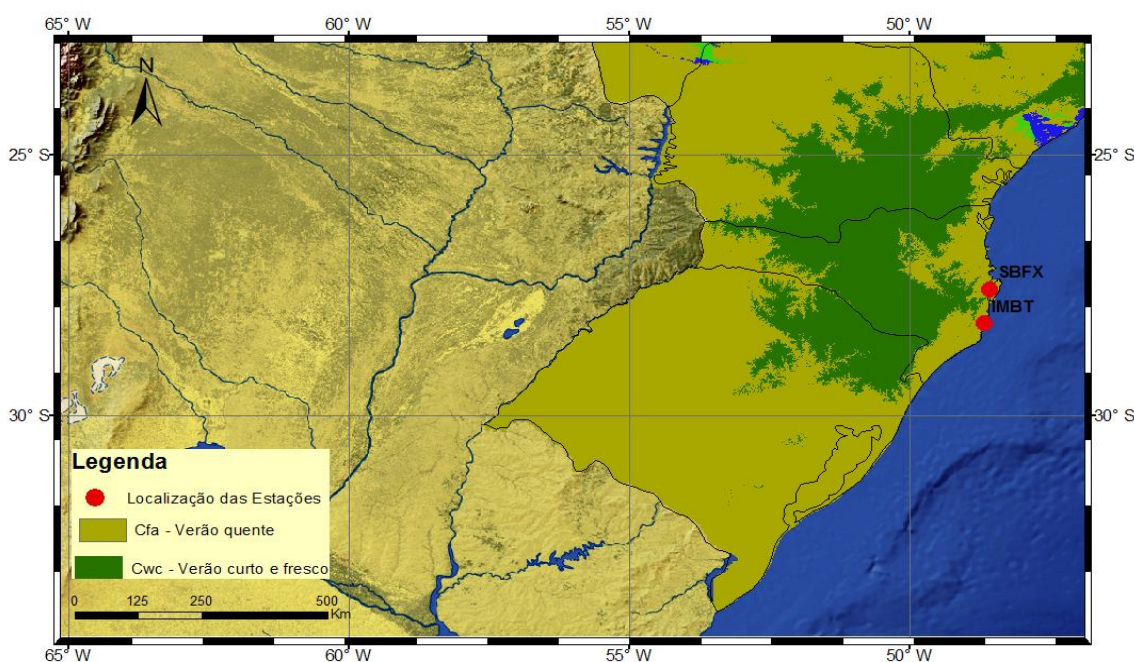
Assim como os parâmetros troposféricos, estimados a partir de funções de mapeamento, são utilizados para calcular o atraso do caminho do zênite e parâmetros de gradientes, os dados meteorológicos podem ser utilizados com a mesma função. Nesta pesquisa, foram utilizadas: a pressão, umidade e temperatura. Estas informações foram obtidas de sensores meteorológicos fornecidas pelo IBGE para estação de IMBT e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para estação de Florianópolis (SBFX). As informações disponibilizadas pelo IBGE são a cada 5 minutos, as fornecidas pelo INMET são a cada 6 horas. Destaca-se que os dados disponibilizados pelo IBGE são de outubro de 2007 a janeiro de 2012, com algumas indisponibilidades, em contrapartida nos dados disponibilizados pelo INMET não há nenhuma indisponibilidade diária.

Vale ressaltar que o período utilizado para comparação da utilização dos parâmetros troposféricos com os dados meteorológicos, corresponde ao ano de 2015. Sendo assim, utilizaram-se as informações de IMBT para comparação com as informações de SBFX. Destaca-se que para isto, foi necessário homogeneizar as

informações e aplicar o coeficiente de correlação. Com a análise do coeficiente de correlação obtiveram-se os seguintes resultados: em relação à pressão, um fator de 0,85; para a umidade um fator de 0,94; e para a temperatura um fator de 0,92. Assim foi considerada uma correlação alta, muito alta e muito alta respectivamente entre as séries.

Como dados de entrada no Bernese, para modelagem do atraso troposférico, utilizou-se as informações oriundas da estação SBFX. Destaca-se que foi possível utilizar os dados da estação SBFX, considerados como equivalente para a estação IMBT, devido à classificação climática de *Koppen*. Esta classifica o território brasileiro em 3 zonas e 12 tipos de climas. Destaca-se que o clima tropical, na zona tropical representa a maior área do território brasileiro, ocorrendo em todas as regiões exceto no Rio Grande Sul (RS), Santa Catarina (SC) e grande parte do Paraná (PR). Os estados de SC, RS e PR estão na zona tropical úmida, apresentando os climas Cfa (Verão quente) e Cwc (Verão curto e fresco). A principal razão para estes climas é porque nestas áreas existem fatores limitantes quanto à altitude, precipitação e temperatura para impor outras zonas climáticas. A Figura 64 apresenta a classificação climática para Região Sul de acordo com o critério de *Köppen* em 1936. Mais informações a respeito da classificação climática do Brasil, pode ser vista em Alvarez et al. (2013).

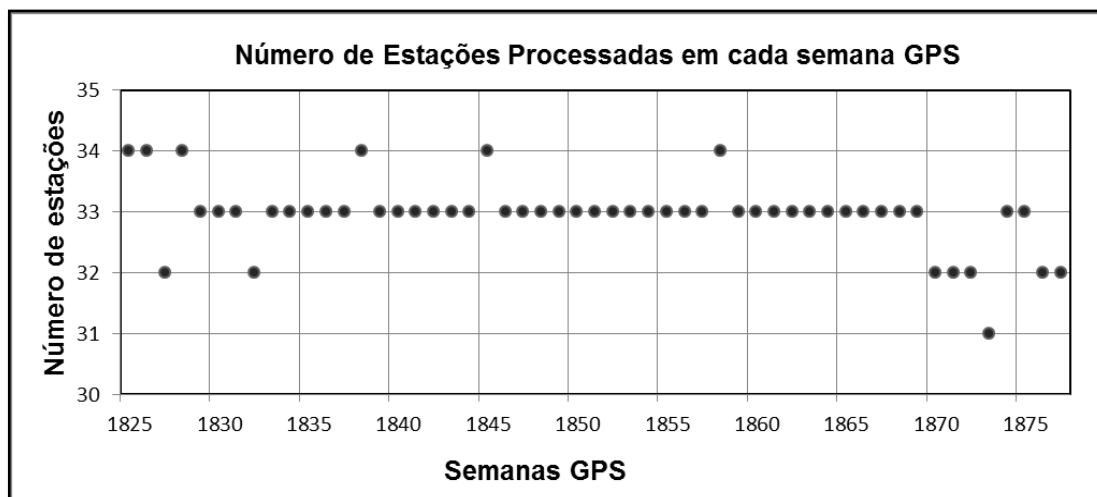
FIGURA 64 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA SEGUNDO O CRITÉRIO DE KOPPEN



Observa-se na Figura 64 que as estações SBFX e IMBT apresentam a mesma classificação climática, pois ambas estão na zona tropical úmida e o clima apresenta verão quente. Destaca-se que estas informações foram obtidas e adaptadas de Alvarez et al. (2013).

Diante destes argumentos apresentados fez-se a comparação da série temporal utilizando dados meteorológicos e parâmetros troposféricos estimados e no final analisou-se o comportamento das coordenadas da estação IMBT para o ano de 2015, que corresponde às semanas GPS 1825 a 1877. Destaca-se que o processamento envolve uma média de 33 estações por semana como apresentado na Figura 65.

FIGURA 65 - NÚMERO DE ESTAÇÕES PROCESSADAS A CADA SEMANA GPS

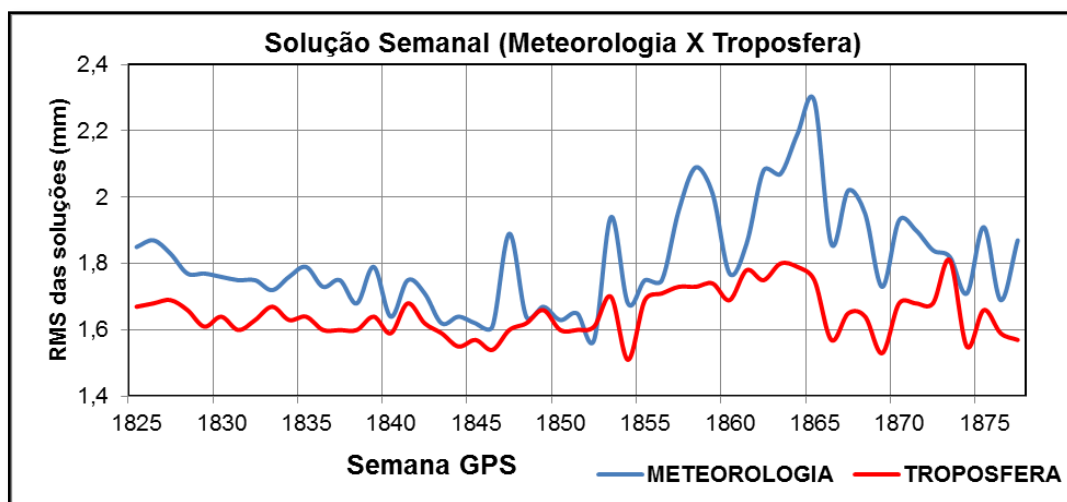


Observa-se na Figura 65 que o menor número de observações processadas é de 31 estações e o maior número de 34 estações. Em contrapartida o número de estações que mais aparece é de 33 estações. O RMS da solução semanal de todas as estações pode ser visto na Figura 66, onde se compara a série utilizando os dados meteorológicos locais e os parâmetros troposféricos estimados. Destaca-se que se utilizou o programa ADDNEQ do Bernese 5.2 para geração das soluções semanais finais.

Na Figura 66 em vermelho destaca-se a série temporal do RMS da solução semanal com uso dos parâmetros troposféricos estimados para todas as estações processadas. Assim como em azul tem-se o RMS com o uso dos dados meteorológicos locais. Destaca-se a ausência de prejuízos com a utilização de

dados meteorológicos locais (observações reais) nos resultados das análises, uma vez que com o uso de parâmetros troposféricos, observa-se que o RMS varia de 1,51 mm a 1,81 mm, em contrapartida com os dados meteorológicos o RMS varia de 1,57 mm a 2,29 mm.

FIGURA 66 - RMS OBTIDO COM O ADDNEQ (EQUAÇÕES NORMAIS SEMANAIS)



Para comparação do RMS de transformação das soluções semanais obtidas com dados troposféricos e meteorológicos, utilizou-se as soluções do processamento e as soluções do IBGE (IBGXXX17.SNX). Podendo assim, realizar a validação da qualidade do processamento. Destaca-se que se utilizou o programa HELMERT pertencente ao Bernese 5.2. Vale destacar que as soluções semanais disponibilizadas pelo IBGE são identificadas como IBG – sigla de identificação, XXX – dia do ano, 1 – identificador da seção, 7 – arquivo concatenado (semanal). A comparação final dos parâmetros de transformação utilizando dados meteorológicos e parâmetros de troposfera são apresentados na Figura 67.

Observa-se na Figura 67 que em vermelho se tem a série temporal do RMS da solução semanal com o uso dos parâmetros troposféricos, a qual é a comparação das estações processadas pelo IBGE e das estações processadas nesta pesquisa. O RMS desta série varia de 0,05 mm a 0,53 mm. Enquanto que a série temporal com dados meteorológicos em azul apresenta o RMS com variação de 0,05 mm a 0,73 mm, comparada às estações processadas pelo IBGE.

Como mencionado anteriormente utilizou-se a estação IMBT para análise da utilização dos parâmetros troposféricos estimados e os dados meteorológicos, as

Figuras 68 e 69 apresentam o RMS das coordenadas com a utilização destes respectivamente. As quais destacam o RMS em relação a componente Norte (*N*), Leste (*L*) e Altimétrica (*UP*).

FIGURA 67 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DAS COORDENADAS FINAIS SEMANAIS

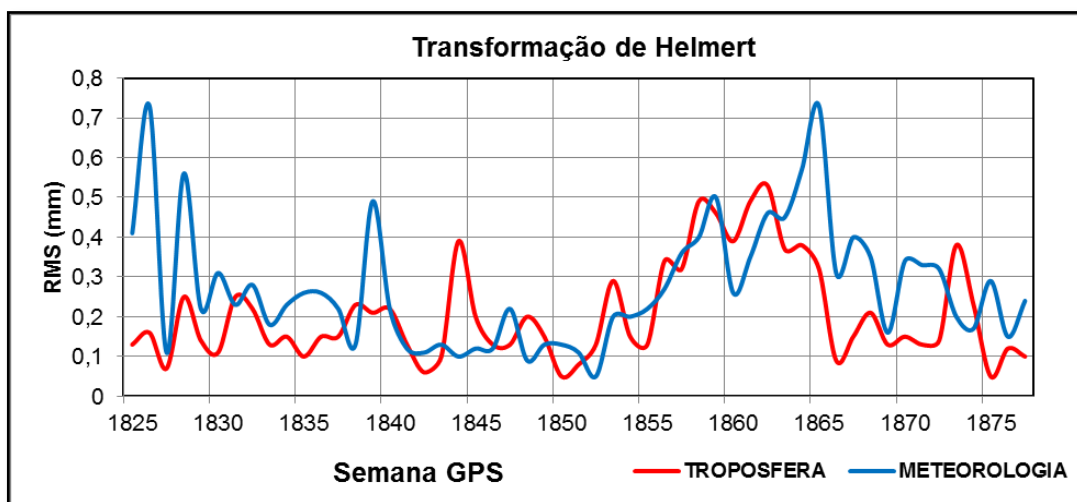
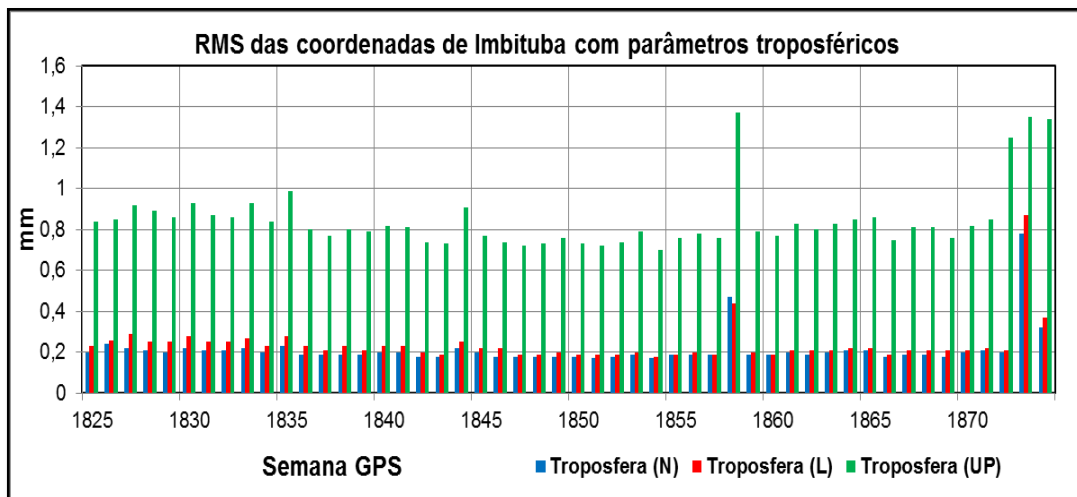


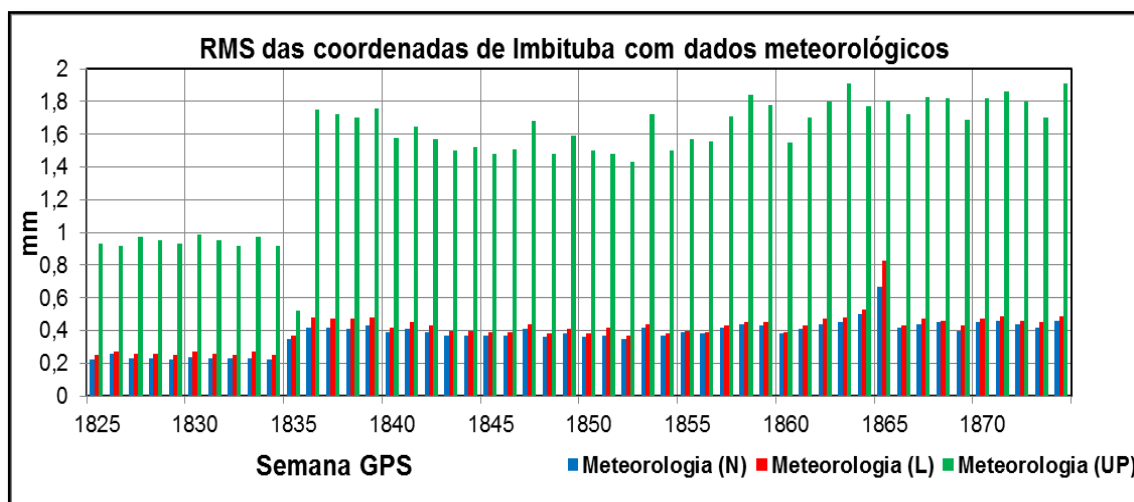
FIGURA 68 - RMS DAS COORDENADAS DE IMBITUBA COM PARÂMETROS TROPOSFÉRICOS ESTIMADOS



Observa-se nas Figuras 68 e 69 que a componente *UP* tem um RMS maior do que comparado às componentes *N* e *L*, tanto quanto com a utilização dos parâmetros troposféricos assim como com os dados meteorológicos. Destaca-se que o RMS da componente *N* variou de 0,17 mm a 0,78 mm e de 0,22 mm a 0,67 mm, enquanto que a componente *L* de 0,19 mm a 0,87 mm e de 0,25 mm a 0,83 mm e

em sequência a componente *UP* de 0,7 mm a 1,35 mm e de 0,93 mm a 1,91 mm, respectivamente com a utilização dos parâmetros troposféricos e com os dados meteorológicos.

FIGURA 69 - RMS DAS COORDENADAS DE IMBITUBA COM DADOS METEOROLÓGICOS LOCAIS



Evidenciou-se que quando se trabalha com *softwares* científicos pode-se trabalhar com os parâmetros de troposfera estimados uma vez que esses possibilitam a geração destes parâmetros, mas quando se trabalha com *softwares* não científicos recomenda-se a adequação e a utilização de dados meteorológicos locais. Como se mostrou na discussão deste subitem, a utilização de dados meteorológicos locais não traz prejuízos aos resultados do processamento. Vale salientar que a utilização dos parâmetros de troposfera estimados também não apresenta prejuízos nos resultados das análises, mesmo estes não sendo observações reais. Estas assertivas foram ratificadas pela análise do RMS das séries temporais das soluções semanais.

5.8 MODELO DE CARGA ATMOSFÉRICA

Existem muitas fontes de perturbação que podem causar deformações crustais, uma delas são as alterações da distribuição de massas na atmosfera. A carga atmosférica de maré é tipicamente expressa pelas constituintes S_1 e S_2 , apresentando amplitudes máximas de 1,5 mm em áreas equatoriais (DACH et al.,

2015, p. 275). Destaca-se que os efeitos da maré atmosférica geralmente não estão inclusos nos modelos de carregamento oceânico. Ressalta-se que para corrigir o efeito da carga atmosférica por completo, adicionalmente, precisa-se utilizar o modelo de carga oceânica que será discutido no subitem 5.9. Para realizar a correção de carga atmosférica são considerados os valores das 2 constituintes S_1 e S_2 , enquanto que para a carga oceânica, em geral, se considera os valores de 11 constituintes que são: M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 , MF , MM e SSA (DACH et al., 2015, p. 770). As suas descrições podem ser vistas na Tabela 14.

A correção da carga atmosférica disponibilizada para ser utilizada pelo Bernese 5.2 é extraída dos modelos globais para todas as estações. O cálculo é realizado utilizando as funções de Green de sobrecarga, baseadas na metodologia proposta por Farrel (1972). O *grid* global é baseado no modelo desenvolvido por Ray e Ponte (2003). Destaca-se que eles utilizam as convenções 2010 do IERS.

O cálculo dos efeitos locais foi realizado utilizando valores das constantes harmônicas locais para comparação com os valores globais. Para isto as funções 68, 69, 70, 71, 72, 73 e 74 foram utilizadas para obtenção dos efeitos da carga atmosférica quando se trabalha com valores locais.

De acordo com Farrel (1972) o movimento vertical para uma estação com coordenada \vec{r} é induzido pelas variações da pressão na superfície $\Delta P(\vec{r}, t)$ e é dado pela equação (68):

$$u_r(\vec{r}, t) = \iint \Delta P(\vec{r}, t) G_R(\psi) \cos\theta d\lambda d\theta \quad (68)$$

Da equação (68) pode-se escrever a equação (69), que é a função de Green para cargas verticais.

$$G_R(\psi) = \frac{GM * R_M}{g_0^2} \sum_{n=0}^{+\infty} h'_n P_n(\cos\psi) \quad (69)$$

Das equações (68) e (69) tem-se que GM é a constante gravitacional universal, R_M é o raio médio da Terra, g_0^2 é a gravidade média, θ é a colatitude, λ é a longitude, ψ é a distância angular entre o ponto calculado e o ponto de carregamento ou correção, dada pela equação (70), P_n é polinômio de Legendre

escrito na equação (71) de grau n para acelerar a convergência da função radial de Green e h'_n é o número de love de sobrecarga radial (-5,005) para o modelo terrestre *Gutenberg-Bullen* (BENAVENT MERCHÁN, 2011).

$$\psi = \arccos(\sin\theta\sin\theta' + \cos\theta\cos\theta' \cos(\lambda - \lambda')) \quad (70)$$

$$\sum_{n=0}^{+\infty} P_n(\cos\psi) = \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \quad (71)$$

Para calcular o deslocamento horizontal segundo Farrel (1972), utiliza-se a equação (72):

$$\vec{u}_h(\vec{r}, t) = \iint \vec{q}(\vec{r}, \vec{r}') \Delta P(r, t) G_H(\psi) \cos\theta d\lambda d\theta \quad (72)$$

Destaca-se que $\vec{q}(\vec{r}, \vec{r}')$ é o vetor unitário originário da estação, tangente a superfície da Terra, o qual se encontra determinado pelos vetores do raio da estação de observação e a estação de cálculo da carga (PETROV e BOY, 2004). Da equação (72) pode-se escrever a equação (73), que é a função de Green para cargas tangenciais.

$$G_H(\psi) = \frac{GM * R_M}{g_0^2} \sum_{n=1}^{+\infty} l'_n \frac{\partial P_n(\cos\psi)}{\partial \psi} \quad (73)$$

Na equação (73), P_n é polinômio de Legendre dada pela equação (74) de grau n para acelerar a convergência da função tangencial de Green e l'_n é o número de love (1,673) de sobrecarga tangencial para o modelo terrestre *Gutenberg-Bullen* (BENAVENT MERCHÁN, 2011).

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{\partial P_n(\cos\psi)}{\partial \psi} = \frac{-\cos\left(\frac{\psi}{2}\right)}{4\sin^2\left(\frac{\psi}{2}\right)} \quad (74)$$

Como entrada no Bernese consideram-se o deslocamento radial (vertical) e o tangencial (horizontal) na direção Norte-Sul e na direção Leste-Oeste, os quais são calculados para os termos *seno* e *coseno* das constantes S_1 e S_2 . O mesmo realizou-se nesta pesquisa com os valores de constantes harmônicas locais. A Tabela 34 apresenta os valores com a correção da carga atmosférica utilizando os valores dos dados locais e os valores do *grid* global.

TABELA 34 - CORREÇÕES LOCAL E GLOBAL DA CARGA ATMOSFÉRICA EM IMBITUBA

Cálculo	Global				Local			
	$\cos S_1$	$\sin S_1$	$\cos S_2$	$\sin S_2$	$\cos S_1$	$\sin S_1$	$\cos S_2$	$\sin S_2$
Radial (mm)	0,2637	-0,1002	-0,7435	-0,4291	0,3159	-0,0993	-0,5974	-0,3971
Tangencial N-S (mm)	-0,0823	0,0792	0,0402	0,0318	-0,0998	0,0987	0,0357	0,0315
Tangencial L-O (mm)	0,0847	0,0095	0,0313	-0,0493	0,0927	0,0092	0,0414	-0,0366

Observa-se na Tabela 34 que os valores obtidos pelo cálculo do *grid* global com os valores locais, são similares e ambos têm efeito bastante pequeno uma vez que estão em fração de mm. Destaca-se que a aplicação da carga atmosférica é importante para corrigir consistentemente o efeito de maré principalmente quando aplicada junto às correções de carga oceânica. No subitem 5.9 será mostrada a comparação da série temporal com a correção do efeito de carga atmosférica e carga oceânica e sem a aplicação destes.

5.9 MODELO DE CARGA OCEÂNICA

A carga oceânica é importante para análise do efeito do deslocamento local, o qual acontece devido à deformação crustal causada pela distribuição de massa das marés oceânicas. Assim como já mencionado, para realizar a correção dos efeitos locais utilizam-se coeficientes específicos para a magnitude do efeito da carga oceânica, onde estes são as amplitudes e fases de 11 componentes harmônicas. Vale ressaltar que a inserção do arquivo contendo as informações de carga oceânica não é obrigatória nos *softwares* científicos, mas é recomendada.

As componentes utilizadas como entradas no Bernese 5.2 são interpoladas a partir de 342 constituintes usando uma rotina que segue as convenções 2010 do IERS (PETIT e LUZUM, 2010). Destaca-se que o modelo de carga oceânica precisa ser interpolado próximo a estação a qual se pretende corrigir.

O modelo de carga oceânica utilizado para correção de maré no processamento das observações GNSS no Bernese é o FES2004. Este modelo foi desenvolvido e corrigido a partir de dados maregráficos e de altimetria por satélites através de um modelo hidrodinâmico. Mais detalhes em Lyard et al. (2004) e Benavent Merchán (2011). Vale ressaltar que Lyard et al. (2006) e Pairaut et al. (2008) em seus estudos mostraram que em áreas costeiras a precisão do FES2004 tende a degradar-se já que a resolução espacial não é suficiente para descrever ressonâncias locais em bacias costeiras.

Assim como se calculou a correção da carga atmosférica local, calculou-se a correção da carga oceânica local, para comparação com os valores gerados pelo modelo global. Inicialmente utilizou-se a integral de convolução (FARREL, 1972), como se apresenta na equação (75):

$$L(\theta, \lambda) = \rho_w R_M^2 \int_{\lambda'=0}^{2\pi} \int_{\theta'=0}^{\pi} \zeta(\theta', \lambda') G_i(\psi) \sin\theta' d\theta' d\lambda' \quad (75)$$

Na equação (75), (θ, λ) são as coordenadas do ponto de observação; (θ', λ') são as coordenadas do ponto de correção, ρ_w é a densidade média da água do mar; $\zeta(\theta', \lambda')$ é a altitude da maré oceânica na malha; $G_i(\psi)$ é a função de carga de Green's, que expressa a distância entre o ponto de observação e o ponto de carga, como se apresenta na equação (76) e (77). Estas são utilizadas para realizar o cálculo dos deslocamentos radial e tangencial, respectivamente.

$$G_R(\psi) = \frac{R_M}{M_T} \sum_{n=0}^{+\infty} h'_n P_n(\cos\psi) \quad (76)$$

$$G_T(\psi) = \frac{R_M}{M_T} \sum_{n=1}^{+\infty} l'_n \frac{\partial P_n(\cos\psi)}{\partial\psi} \quad (77)$$

Nas equações (76) e (77), M_T é a massa da Terra, R_M é o raio médio da Terra, ψ é a distância angular entre o ponto de cálculo e o ponto de carregamento ou correção, dada pela equação (70), P_n é o polinômio de Legendre escrito nas equações (71) e (74) de grau n para acelerar a convergência da função radial e tangencial de Green, respectivamente e h'_n e l'_n são os números de *love* de sobrecarga radial e tangencial (-5,005 e 1,673, respectivamente) para o modelo terrestre *Gutenberg-Bullen* (BENAVENT MERCHÁN, 2011).

O cálculo do deslocamento radial é realizado para cada constituinte de maré k , como se apresenta na equação (78), esta é escrita a partir da junção das equações (75) e (76).

$$L_{GR}^k(\theta, \lambda) = \rho_w R_M^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \zeta(\theta', \lambda') \left(\left(\frac{R_M}{M_T} \right) \sum_{n=0}^{+\infty} h'_n P_n(\cos\psi) \right) \sin\theta' d\theta' d\lambda' \quad (78)$$

De forma análoga o cálculo da posição tangencial é realizado para cada constituinte de maré k , como se apresenta na equação (79), escrita através da junção das equações (75) e (77).

$$L_{GT}^k(\theta, \lambda) = \rho_w R_M^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \zeta(\theta', \lambda') \left(\left(\frac{R_M}{M_T} \right) \sum_{n=1}^{+\infty} l'_n \frac{\partial P_n(\cos\psi)}{\partial\psi} \right) \sin\theta' d\theta' d\lambda' \quad (79)$$

Para expressar o deslocamento tangencial em sua direção N-S e E-O, a equação (79) é reescrita como as equações (80) e (81), respectivamente, considerando o azimuth entre a estação observada e a estação a ser corrigida a carga oceânica (BENAVENT MERCHÁN, 2011):

$$\text{Direção N} - \text{S} = -L_{GT}^k(\theta, \lambda) * \cos\alpha \sin\theta' d\theta' d\lambda' \quad (80)$$

$$\text{Direção E} - \text{O} = -L_{GT}^k(\theta, \lambda) * \sin\alpha \sin\theta' d\theta' d\lambda' \quad (81)$$

Das equações (80) e (81), destaca-se que α é o azimuth do centro da malha (i, j) medido a partir do ponto de observação até o ponto a ser corrigido. Segundo

Benavent Merchán (2011), o deslocamento tangencial em sua direção N-S e E-O tomam valores positivos e negativos quando a crosta terrestre se move na direção noroeste e sudoeste, respectivamente.

Como entrada no Bernese consideram-se o deslocamento radial e o tangencial na direção Norte-Sul e na direção Leste-Oeste, para as amplitudes (m) e para as fases (graus). O mesmo realizou-se nesta pesquisa com os valores das constantes harmônicas locais. As Tabelas 35 e 36 apresentam os valores com a correção da carga oceânica utilizando os valores obtidos do modelo global FES2004 e os valores dos dados locais, respectivamente.

TABELA 35 - CORREÇÃO DA CARGA OCEÂNICA EM IMBITUBA - MODELO FES2004 (GLOBAL)

Componentes	Global					
	Amplitude (m)			Fase (grau)		
	Rad.	L-O	N-S	Rad.	L-O	N-S
M₂	0,927	0,225	0,194	27,9	16,1	-7,8
S₂	0,385	0,099	0,062	18,3	19,7	27,9
N₂	0,257	0,050	0,048	50,3	93,1	-33,5
K₂	0,113	0,031	0,016	6,1	9,5	29,2
K₁	0,134	0,092	0,123	64,0	20,4	108,7
O₁	0,431	0,111	0,139	-94,8	-46,8	72,3
P₁	0,045	0,031	0,041	-63,0	19,7	108,5
Q₁	0,119	0,027	0,030	-116,7	-77,9	48,0
MF	0,021	0,014	0,013	170,8	152,4	-177
MM	0,013	0,005	0,006	178,0	148,4	175,5
SSA	0,012	0,002	0,004	-177,7	169,1	178,9

FONTE: Correções baseadas no modelo FES2004 existente no Bernese 5.2

TABELA 36 - CORREÇÃO da CARGA OCEÂNICA EM IMBITUBA - (LOCAL)

Componentes	Local					
	Amplitude (m)			Fase (grau)		
	Rad.	L-O	N-S	Rad.	L-O	N-S
M₂	1,060	0,241	0,172	28,85	21,07	-7,9
S₂	0,410	0,093	0,066	18,97	25,9	27,3
N₂	0,285	0,065	0,046	55,02	89,88	-31,6
K₂	0,251	0,057	0,020	7,89	11,28	30,6
K₁	0,116	0,026	0,188	65,23	20,61	108,1

Conclusão						
Componentes	Local					
	Amplitude (m)			Fase (grau)		
	Rad.	L-O	N-S	Rad.	L-O	N-S
O₁	0,406	0,185	0,132	-99,59	-44,9	76,7
P₁	0,042	0,038	0,053	-58,06	17,4	103,6
Q₁	0,105	0,024	0,034	-124,9	-77,8	47,4
MF	0,021	0,019	0,014	177,9	155,2	-178
MM	0,017	0,004	0,007	181,1	148,5	174,5
SSA	0,012	0,003	0,005	-179,7	166,8	178,8

Observa-se nas Tabelas 35 e 36 que os valores obtidos pelo modelo global FES2004 e os valores locais são similares, mas não idênticos. Destaca-se que quando são aplicadas as correções de carga oceânica, realizam-se correções horizontais e verticais. Adicionalmente pode-se analisar a direção do movimento da crosta terrestre a partir dos sinais gerados no deslocamento tangencial na direção N-S e L-O.

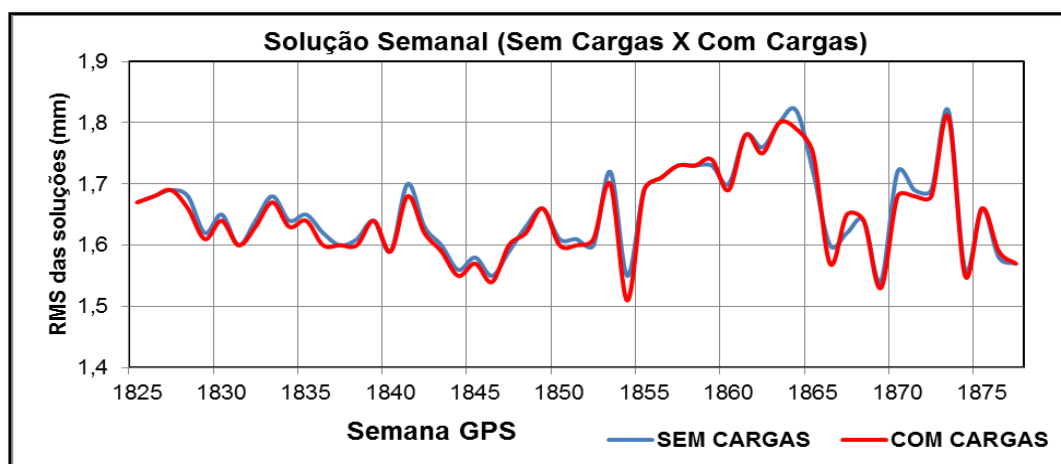
Diante destes argumentos fez-se a comparação entre as séries temporais de RMS das coordenadas de IMBT, dos parâmetros de transformação para comparação com os gerados pelo IBGE e o RMS de transformação, utilizando as correções da carga atmosférica e da carga oceânica e as séries onde não foram utilizadas as correções. O processamento foi realizado no Bernese 5.2 e no final analisou-se o comportamento das coordenadas de IMBT. Destaca-se que para comparação das séries temporais utilizou-se o ano de 2015, que corresponde às semanas GPS 1825 a 1877, assim como no processamento de comparação com o uso de dados meteorológicos locais versus dados troposféricos estimados. A quantidade de estações utilizadas no processamento foi apresentada na Figura 65.

O RMS da solução semanal de todas as estações pode ser visto na Figura 70, onde se compara a série utilizando as correções de carga atmosférica e oceânica com a série sem estas correções. Vale ressaltar que as correções globais foram baseadas em modelo existente no Bernese 5.2 e as correções locais foram baseadas em dados locais de maré. Para geração das soluções semanais finais, foi utilizado o programa ADDNEQ do Bernese 5.2.

Na Figura 70 em vermelho destaca-se a série temporal do RMS da solução semanal com uso das correções de carga atmosférica e oceânica para todas as

estações utilizadas no processamento. Assim como em azul tem-se sem a aplicação destas correções. Destaca-se que com a utilização das informações das correções de carga oceânica e atmosférica obtêm-se resultados menos dispersos, uma vez que com a utilização da correção de carga oceânica e atmosférica, o RMS varia de 1,51 mm a 1,81 mm; em contrapartida sem o uso das correções o RMS varia de 1,54 mm a 1,82 mm. Mesmo sendo uma diferença pequena é recomendada a utilização das correções de carga oceânica e atmosférica em vista da possibilidade de eventos extremos em períodos sob análise.

FIGURA 70 - RMS OBTIDO EM ADDNEQ (EQUAÇÕES NORMAIS SEMANAIS) COM A UTILIZAÇÃO DE CORREÇÕES DE CARGA ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA BASEADAS EM MODELOS GLOBAIS E SEM A UTILIZAÇÃO DAS CORREÇÕES

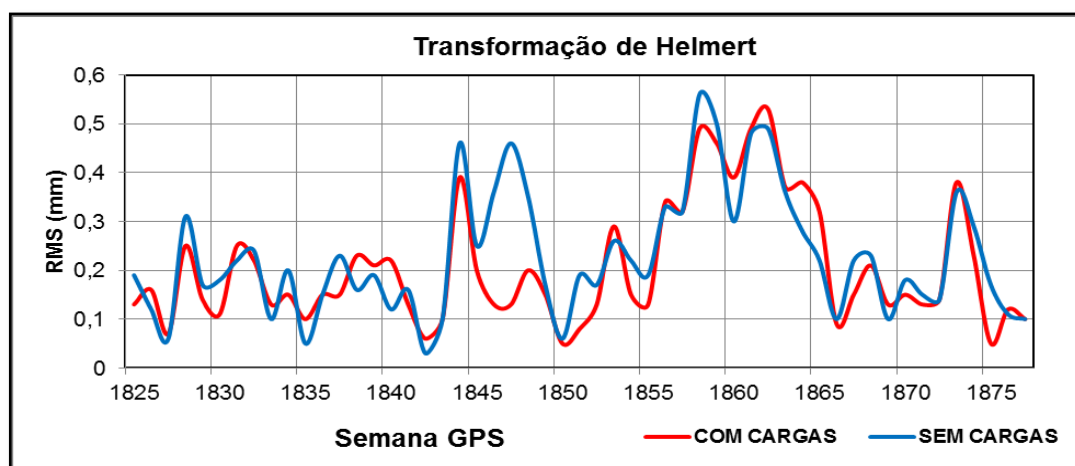


Para comparação do RMS de transformação das soluções semanais obtidas com correções de carga oceânica e atmosférica (modelos globais) e sem as correções, utilizou as soluções do processamento e as soluções do IBGE (IBGXXX17.SNX). Podendo assim, realizar a validação da qualidade do processamento. Destaca-se que se utilizou o programa HELMERT pertencente ao Bernese 5.2. A Figura 71 apresenta a comparação final dos parâmetros de transformação utilizando as correções de carga oceânica e atmosférica baseadas em modelos globais existentes no Bernese 5.2 e sem o uso das correções.

A Figura 71 apresenta as séries com a comparação final dos parâmetros de transformação utilizando correções de carga oceânica e atmosférica baseadas em modelos globais existentes no Bernese 5.2 e sem a utilização destas correções. Observa-se na Figura 71 que em vermelho se tem a série temporal do RMS da

solução semanal com o uso das correções de carga oceânica e atmosférica, a qual é a comparação das estações processadas pelo IBGE e as estações utilizadas nesta pesquisa. O RMS desta série varia de 0,05 mm a 0,53 mm. Enquanto que a série temporal sem o uso das correções, em azul, apresenta o RMS com variação de 0,03 mm a 0,56 mm, comparada com as estações processadas pelo IBGE.

FIGURA 71 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DAS COORDENADAS FINAIS SEMANAIS COM O USO DE CORREÇÕES DE CARGA ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA BASEADAS EM MODELOS GLOBAIS E SEM A UTILIZAÇÃO DAS CORREÇÕES



As Figuras 72 e 73 apresentam o RMS das coordenadas, em relação às componentes *N*, *L* e *UP*.

FIGURA 72 - RMS DAS COORDENADAS DE IMBITUBA COM A UTILIZAÇÃO DAS CORREÇÕES DA CARGA ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA BASEADAS EM MODELOS GLOBAIS

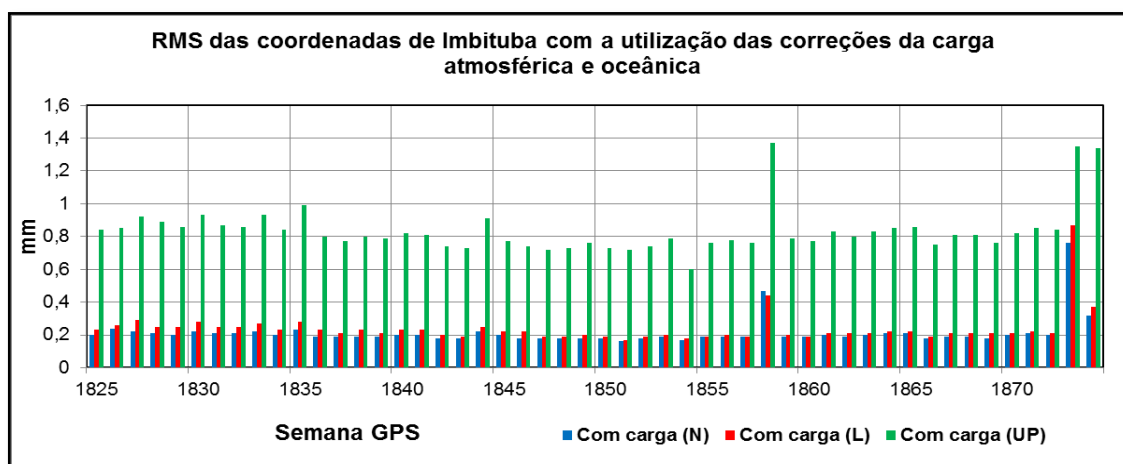
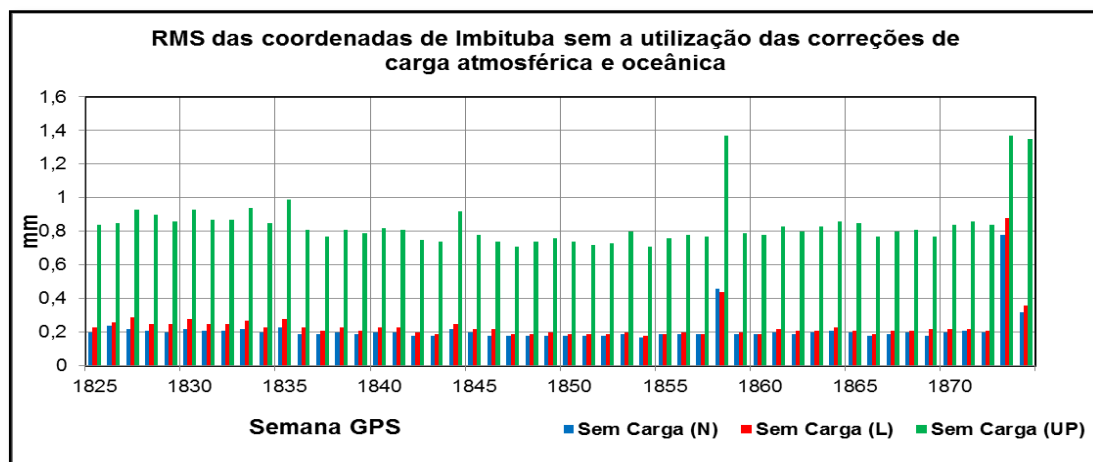


FIGURA 73 - RMS DAS COORDENADAS DE IMBITUBA SEM O USO DA CARGA ATMOSFÉRICA E OCEÂNICA



Observa-se nas Figuras 72 e 73 que a componente *UP* tem um RMS maior se comparado com as componentes *N* e *L*, tanto quanto com a utilização das correções assim como sem o uso das correções. Destaca-se que o RMS da componente *N* variou de 0,16 mm a 0,76 mm e de 0,17 mm a 0,78 mm, enquanto que a componente *L* variou de 0,17 mm a 0,87 mm e de 0,18 mm a 0,88 mm e em sequência a componente *UP* variou de 0,6 mm a 1,35 mm e de 0,71 mm a 1,37 mm, com a utilização das correções e sem as correções, respectivamente. Vale ressaltar que as componentes *N*, *L* e *UP* apresentaram maiores RMS para a série sem a utilização das correções de carga oceânica e atmosférica.

5.10 SÉRIES TEMPORAIS DAS OBSERVAÇÕES GNSS DO DVB-I

Como apresentado nos subitens anteriores utilizou-se um conjunto de estações para realizar o processamento no Bernese 5.2. A Figura 74 ilustra a média do número de estações que se utilizou para realizar o processamento diário visando a obtenção das soluções semanais, que correspondem às semanas GPS 1443 a 1877. Destaca-se que o processamento envolveu uma média de 33 estações por semana, em contrapartida o menor e o maior número de estações envolvidas no processamento foram de 25 e 35, respectivamente. Observa-se na Figura 74 que apenas uma semana apresenta o menor número de estações disponíveis.

Para avaliar a dispersão e a qualidade das soluções semanais realizou-se o teste do qui-quadrado. Este foi utilizado para comparar se a distribuição observada

dos dados se encontrava dentro de uma distribuição esperada, analisando se era necessário um ajuste no processamento ou se seria preciso rejeitar o processamento. Adicionalmente a partir do teste pode-se ter a certeza se as soluções semanais podiam ser aceitas ou se haveria a necessidade de reproprocessamento das observações ou de eliminação de alguma estação. O resultado do teste é visto na Figura 75.

FIGURA 74 - NÚMERO DE ESTAÇÕES PROCESSADAS DAS SEMANAS GPS 1443 A 1877

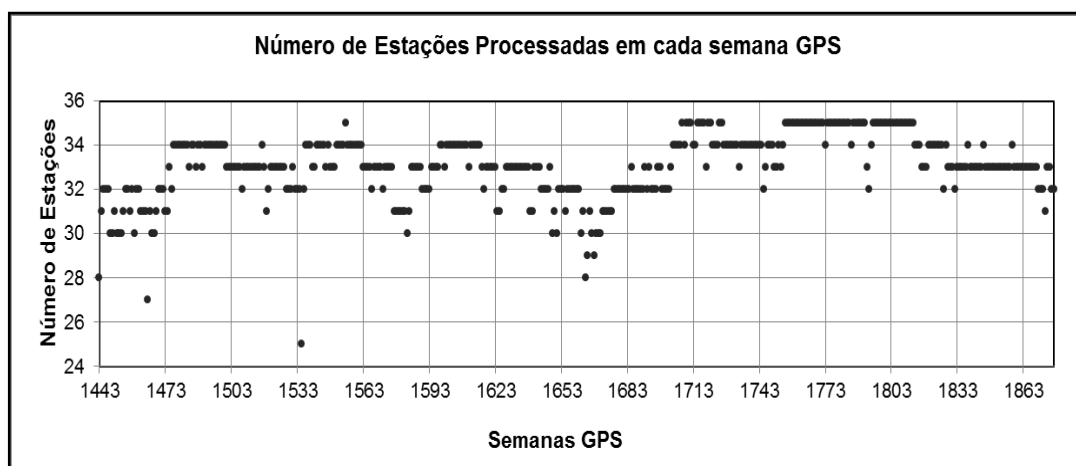
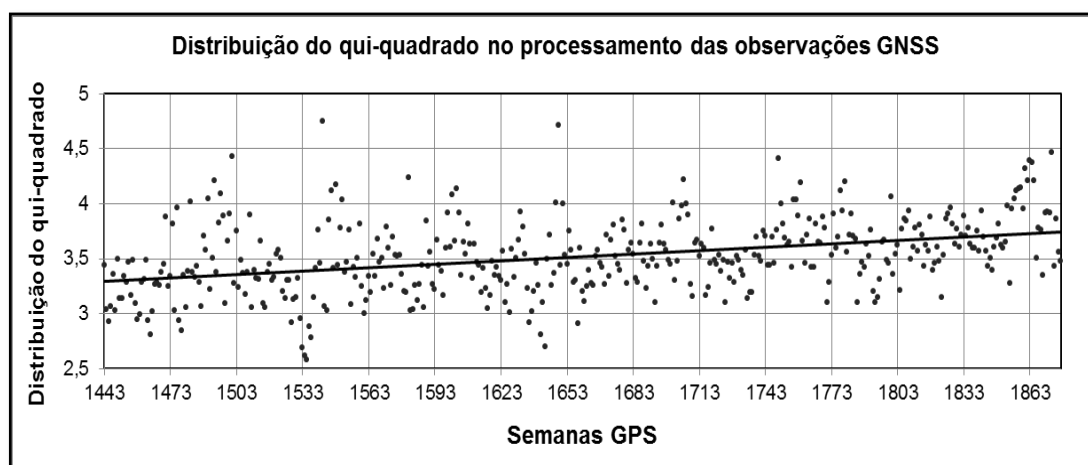


FIGURA 75 - DISPERSÃO DAS SOLUÇÕES SEMANAIS PELO TESTE DO QUI-QUADRADO

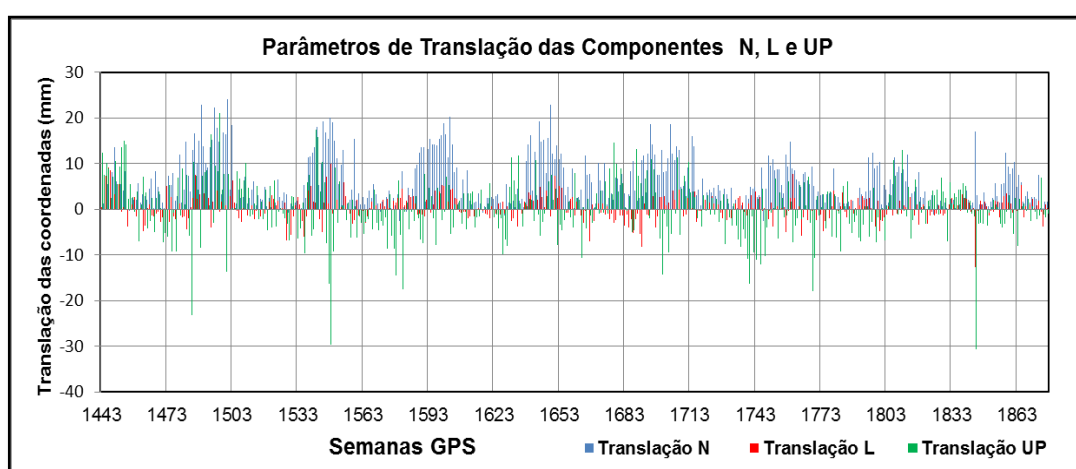


Observa-se na Figura 75 que de forma geral o processamento apresenta uma boa acurácia e apresenta apenas algumas dispersões em algumas semanas. Para reavaliar a qualidade do processamento do conjunto de estações utilizadas realizou-se a comparação das coordenadas e determinaram-se os parâmetros de translação do processamento em relação às componentes *N*, *L* e *UP* (Vertical ou

altimétrica), os quais foram utilizados para avaliar a qualidade das coordenadas geradas e do processamento semanal.

A Figura 76 apresenta os parâmetros de translação gerados semanalmente na solução final do processamento para as componentes *N*, *L* e *UP*. Para dar mais confiabilidade aos resultados, calculou-se o desvio padrão e assim a partir da repetibilidade avaliou-se a qualidade do processamento.

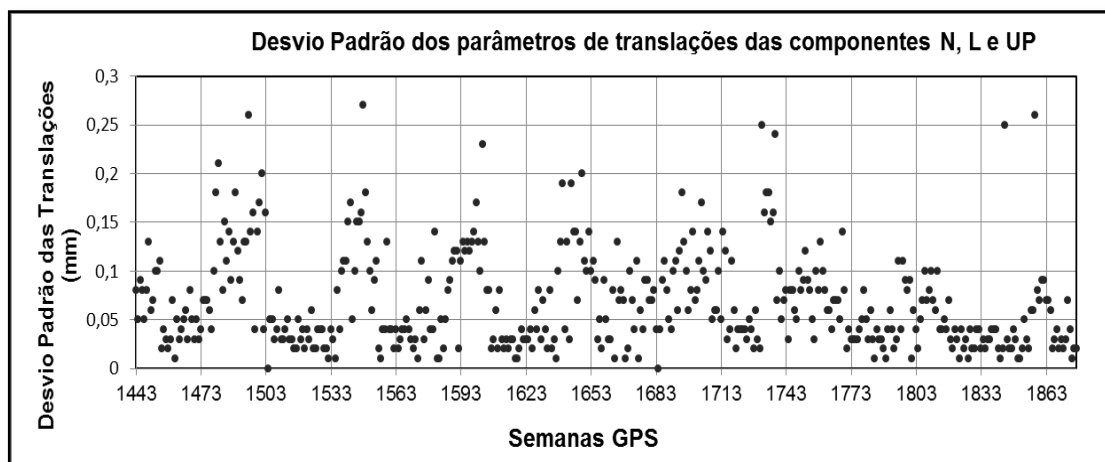
FIGURA 76 - PARÂMETROS DE TRANSLAÇÃO DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES *N*, *L* e *UP*



Analisando a Figura 76 observou-se que na direção norte o parâmetro de translação varia entre -2,62 mm e 24,02 mm, com uma média de 5,82 mm. Em relação à direção leste o parâmetro de translação varia entre -12,58 mm e 10,01 mm, com uma média de 0,44 mm. Na direção vertical o parâmetro de translação varia entre -30,56 mm e 21,01 mm, com uma média de 0,29 mm. A Figura 77 apresenta o desvio padrão dos parâmetros para cada semana processada em relação às componentes *N*, *L* e *UP* (Vertical ou altimétrica) das estações utilizadas no processamento.

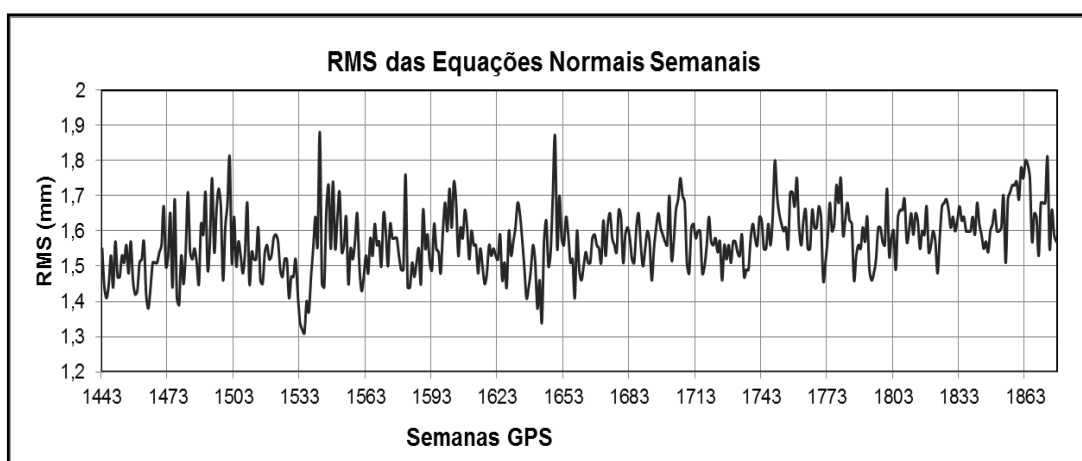
Analisando a Figura 77 observou-se que o desvio padrão variou entre 0 e 0,27 mm, e a média do desvio padrão é de 0,068 mm. A partir da análise das Figuras 76 e 77, evidencia-se que a partir da repetibilidade do processamento, têm-se resultados sem apresentar muita dispersão, ou seja, os valores de translação e das coordenadas podem ser utilizados para distintas análises e trabalhos.

FIGURA 77 - DESVIO PADRÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSLAÇÃO DAS SOLUÇÕES SEMANAIS



Devido as coordenadas assim como as velocidades das estações fiduciais variarem ao longo do processamento, estimou-se velocidades para todas as estações como apresentado nos subitens do 5.5 e para maior confiabilidade no processamento analisou-se o RMS das soluções semanais finais como se apresenta na Figura 78. No processamento utilizou-se o período entre a semana GPS 1443 até a 1877 e foram consideradas todas as informações apresentadas no Quadro 2. Vale ressaltar que se utilizaram informações globais (Modelos de carga oceânica e atmosférica, parâmetros de troposfera, etc) tendo em vista que foram utilizadas as soluções semanais geradas no processamento e as soluções semanais geradas pelo IBGE (IBGXXX17.SNX).

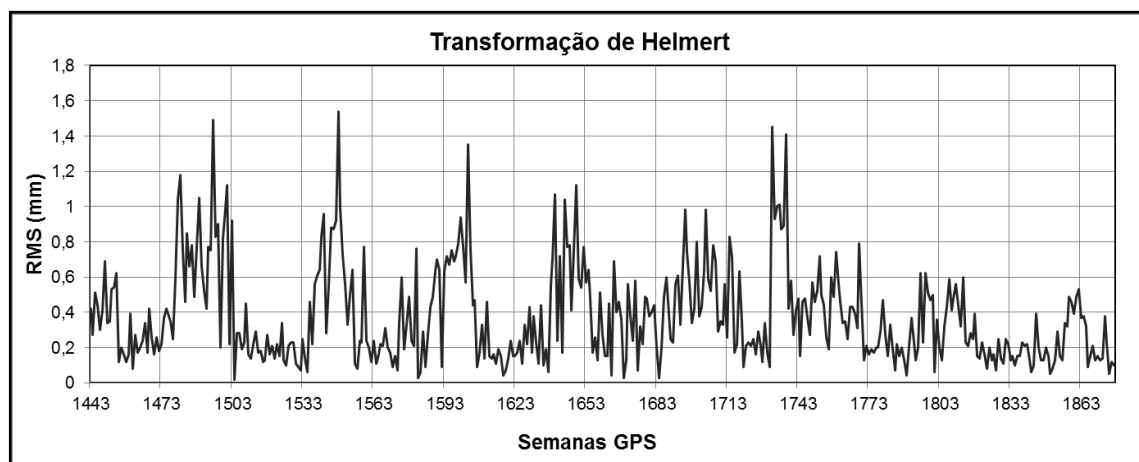
FIGURA 78 - RMS OBTIDO EM ADDNEQ DAS SOLUÇÕES FINAIS (EQUAÇÕES NORMAIS SEMANAIS)



Na Figura 78 apresenta-se a série temporal do RMS das equações normais da solução semanal para todas as estações processadas (solução do processamento e solução do IBGE). Observa-se que o RMS varia entre 1,31 mm a 1,88 mm e apresenta uma média de 1,57 mm. Destaca-se que essa série temporal está em concordância com as referências que vem trabalhando com processamento de observações GNSS, uma vez que se obteve RMS menores do que 2 mm.

Assim como se analisou o RMS das equações normais semanais, utilizando o programa ADDNEQ, realizou-se a análise do RMS dos parâmetros de transformação, utilizando o programa HELMERT. A Figura 79 apresenta os RMS dos parâmetros de transformação para o processamento, empregando todas as estações.

FIGURA 79 - RMS DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DAS COORDENADAS FINAIS SEMANAIS



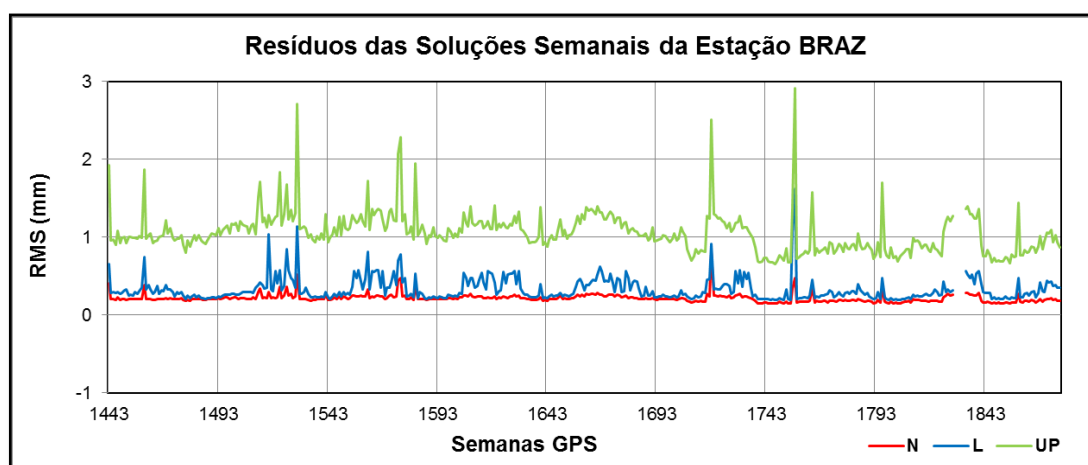
Observa-se na Figura 79, a série temporal do RMS das soluções semanais (solução do processamento e solução do IBGE). O RMS desta série varia de 0,02 mm a 1,54 mm. Analisando os RMS, pode-se evidenciar que são poucas semanas que apresentam RMS maiores que 1 mm, analisando a média do período trabalhado, obteve-se 0,38 mm.

Para as estações que fazem parte do IGS e que foram utilizadas no processamento, realizou-se a comparação das séries temporais dos resíduos. A comparação entre as duas séries foi realizada no intuito de verificar se o processamento realizado seria suficiente para explicar o comportamento das

componentes da estação IMBT. Para isto, utilizaram-se as estações processadas que fazem parte da rede IGS. Mais detalhes podem ser vistos em IGS (2017a).

As Figuras 80 e 81 apresentam os resíduos das soluções semanais, das componentes *N*, *L* e *UP*, das estações BRAZ e BRFT, as quais foram utilizadas como estações de referências, pertencentes à rede IGS.

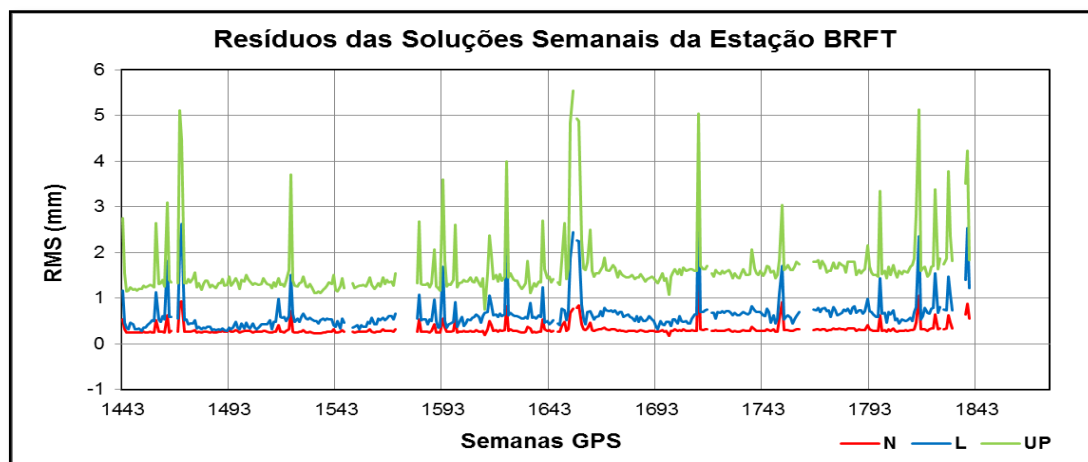
FIGURA 80 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES *N*, *L* E *UP* DA ESTAÇÃO BRAZ



Comparando a série temporal dos resíduos semanais na Figura 80 com a série temporal do IGS (2017b), observou-se que os resíduos das componentes *N* e *L* obtidos estão em concordância com os resíduos obtidos pelo IGS. Mas a componente *UP* apresenta comportamento sistemático, isto se deve ao fato de que a série obtida estar referenciada ao ITRF2008 e a disponibilizada na página do IGS estar referenciada ao ITRF2014. O mesmo ocorreu com os resíduos apresentados na série temporal da Figura 81 IGS (2017c), os quais referem-se a estação BRFT. Observou-se que a coordenada *UP* da estação BRFT apresenta um comportamento sistemático e anômalo.

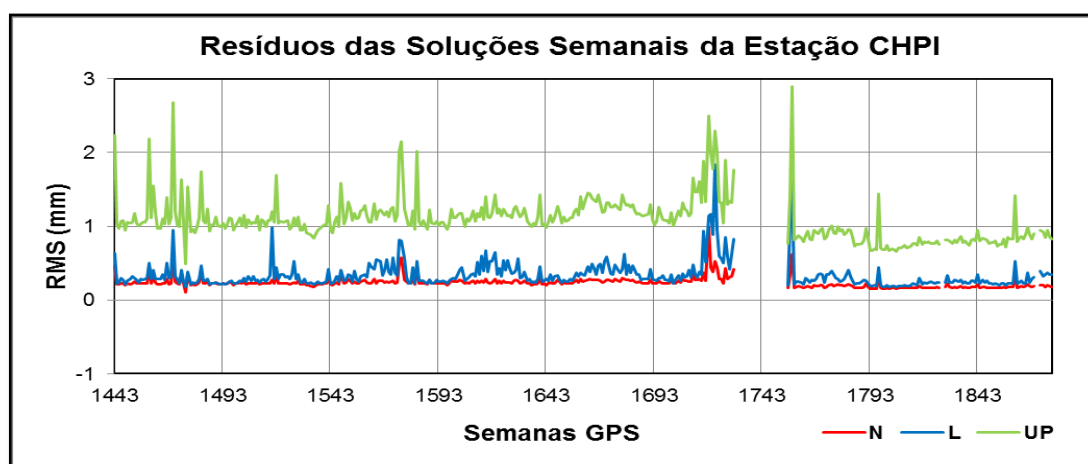
As estações CHPI, POVE, RECF, SALU, SAVO e UFPR, também, fazem parte da rede IGS e foram utilizadas no processamento para criação de linhas de base. Estas estações, assim como BRAZ e BRFT, foram utilizadas para comparação com as séries temporais dos resíduos do IGS. Vale destacar que o comportamento da componente *UP* da estação BRFT reflete nos resultados das estações utilizadas para linha de base.

FIGURA 81 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO BRFT



Observou-se nas séries temporais das Figuras 80 e 81, que as estações BRAZ e BRFT apresentam períodos de descontinuidade de dados. A estação BRAZ apresenta uma maior consistência na disponibilização de dados comparada a estação BRFT, pois a estação BRFT apresenta um longo período de descontinuidade de dados, como apresentado na Figura 81. A Figura 82 apresenta os resíduos das soluções semanais, das componentes *N*, *L* e *UP*, da estação CHPI.

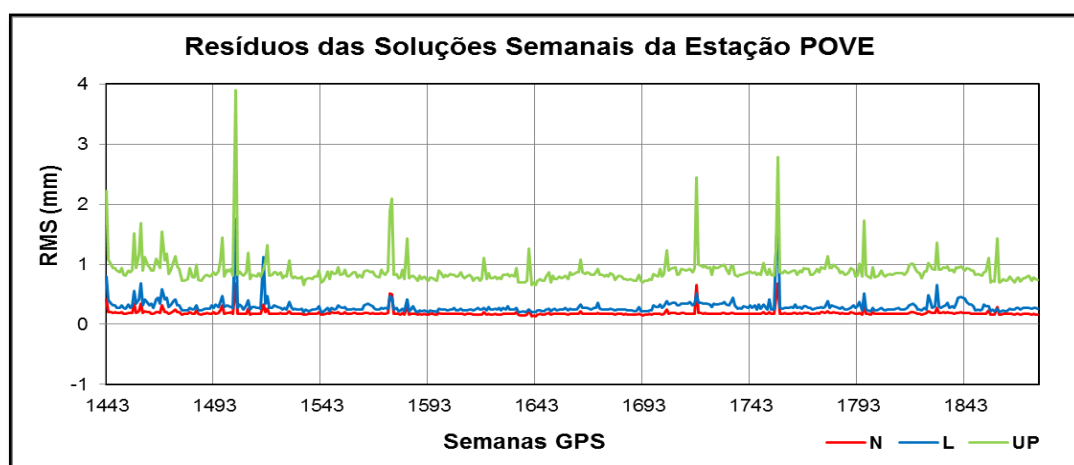
FIGURA 82 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO CHPI



Comparando a série temporal dos resíduos semanais na Figura 82 com a série temporal do IGS (2017d), observou-se que os resíduos obtidos estão em concordância com os resíduos obtidos pelo IGS. Assim como a estação BRAZ e

BRFT, estações de referência, apresentaram comportamento sistemático na componente *UP*, observa-se esse mesmo comportamento na estação CHPI. Destaca-se que a série temporal apresenta um período com descontinuidade de dados, como apresentado na Figura 82. A Figura 83 apresenta os resíduos das soluções semanais, das componentes *N*, *L* e *UP*, da estação POVE.

FIGURA 83 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES *N*, *L* E *UP* DA ESTAÇÃO POVE



Comparando a série temporal dos resíduos semanais, da estação POVE, na Figura 83 com a série temporal do IGS (2017e), observou-se que os resíduos das componentes *N* e *L* obtidos estão em concordância com os resíduos obtidos pelo IGS. Mas a componente *UP* apresenta comportamento sistemático, isto se deve ao fato de que a série obtida estar referenciada ao ITRF2008 e a disponibilizada na página do IGS estar referenciada ao ITRF2014, assim como o comportamento anômalo da componente *UP* da estação BRFT. As Figuras 84 e 85 apresentam os resíduos das soluções semanais, das componentes *N*, *L* e *UP*, das estações RECF e SALU, respectivamente.

A série temporal dos resíduos semanais, da estação RECF, na Figura 84 comparada com a série temporal do IGS (2017f), apresentou concordância entre os resíduos obtidos e os apresentados pelo IGS. Destaca-se que a série temporal apresenta um longo período de descontinuidade de dados, como apresentado na Figura 84. E a componente *UP* apresenta comportamento sistemático.

FIGURA 84 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO RECF

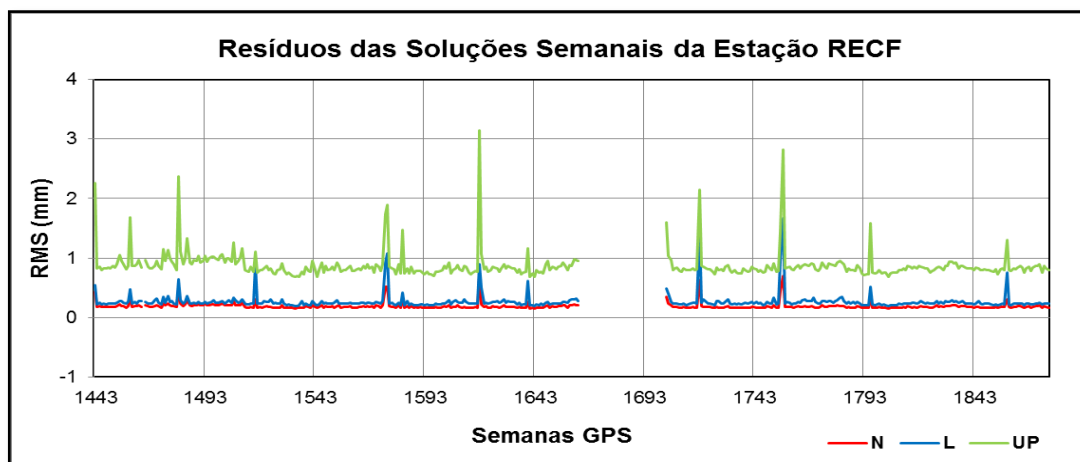
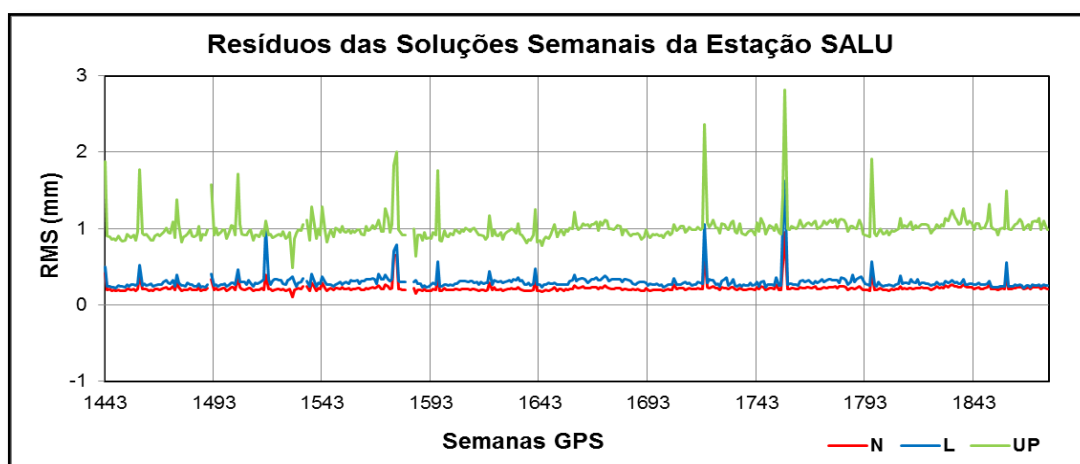


FIGURA 85 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N, L E UP DA ESTAÇÃO SALU



Comparando a série temporal dos resíduos semanais, da estação SALU, na Figura 85 com a série temporal do IGS (2017g), observou-se que os resíduos obtidos estão em concordância com os resíduos obtidos pelo IGS. Destaca-se que a série temporal apresenta um curto período de descontinuidade de dados. Como se observou nas estações anteriores a componente *UP* apresenta comportamento sistemático, isto se deve ao fato da estação BRFT utilizada como referência apresentar comportamento anômalo, assim como a série temporal apresentada na Figura 85 estar referenciada ao ITRF2008 e a apresentada na página do IGS estar referenciada ao ITRF2014. As Figuras 86 e 87 apresentam os resíduos das soluções

semanais, das componentes N , L e UP , das estações SAVO e UFPR, respectivamente.

FIGURA 86 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N , L E UP DA ESTAÇÃO SAVO

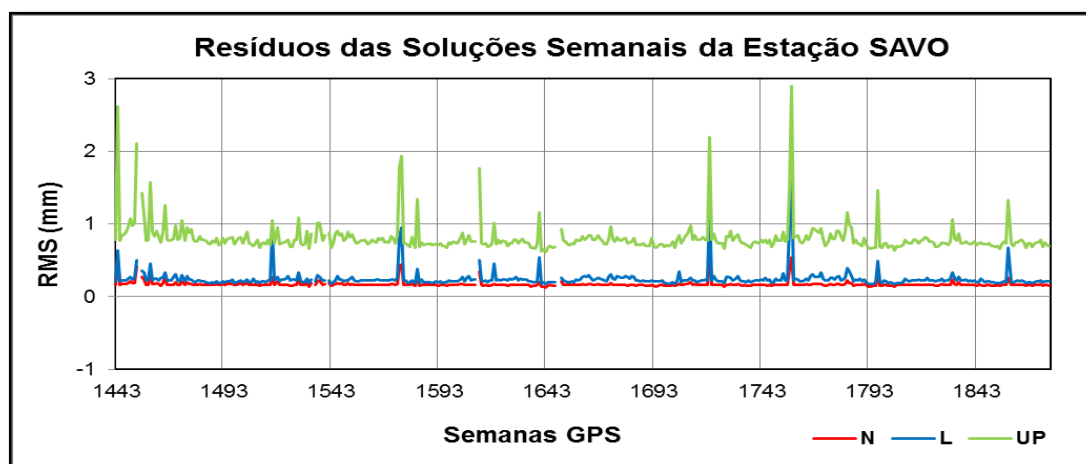
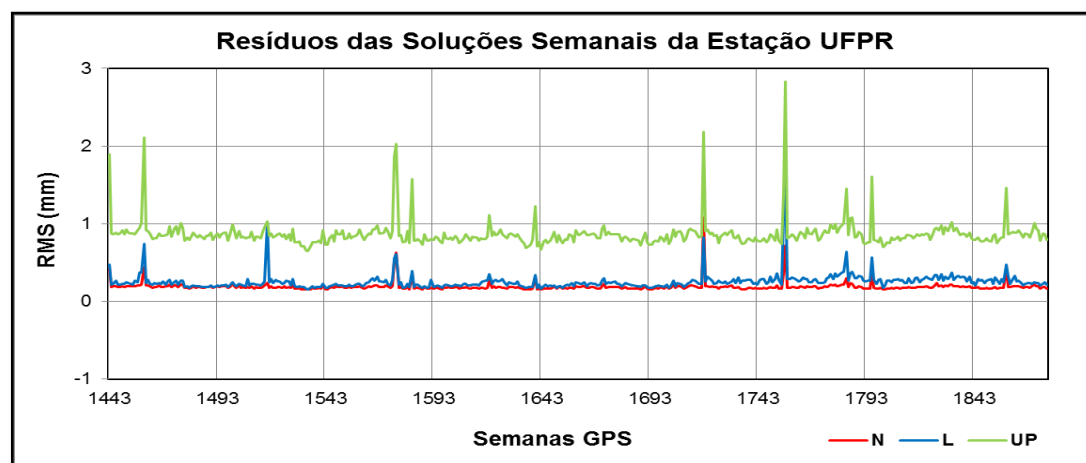


FIGURA 87 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES N , L E UP DA ESTAÇÃO UFPR



Comparando a série temporal dos resíduos semanais, da estação SAVO, na Figura 86 com a série temporal do IGS (2017h), observou-se que os resíduos obtidos estão em concordância com os resíduos obtidos pelo IGS. Assim como a série temporal dos resíduos semanais, da estação UFPR, na Figura 87, apresentam concordância com a série temporal do IGS (2018i). Mas como se observou nas estações anteriores a componente UP apresenta comportamento sistemático, isto se deve ao fato da estação BRFT utilizada como referência apresentar comportamento

anômalo, assim como a série temporal apresentada, nas Figuras 86 e 87, estar referenciada ao ITRF2008 e a apresentada na página do IGS estar referenciada ao ITRF2014.

Para avaliar a qualidade das coordenadas geradas no processamento para a estação IMBT, analisaram-se os resíduos das componentes *N*, *L* e *UP*, como pode ser visto na Figura 88 e na Tabela 37, que mostra o resumo da análise do máximo, mínimo, média, variância e desvio padrão do RMS das componentes, adicionalmente identificou-se a semana GPS que apresenta os valores máximo e mínimo. Destaca-se que a estação IMBT não faz parte da Rede IGS, mas os resultados obtidos podem-se ser validados, uma vez que se analisaram as estações que pertencem à rede IGS e que foram utilizadas no processamento, as quais estão em concordâncias.

FIGURA 88 - RESÍDUOS DAS SOLUÇÕES SEMANAIS DAS COMPONENTES *N*, *L* E *UP* DA ESTAÇÃO IMBT

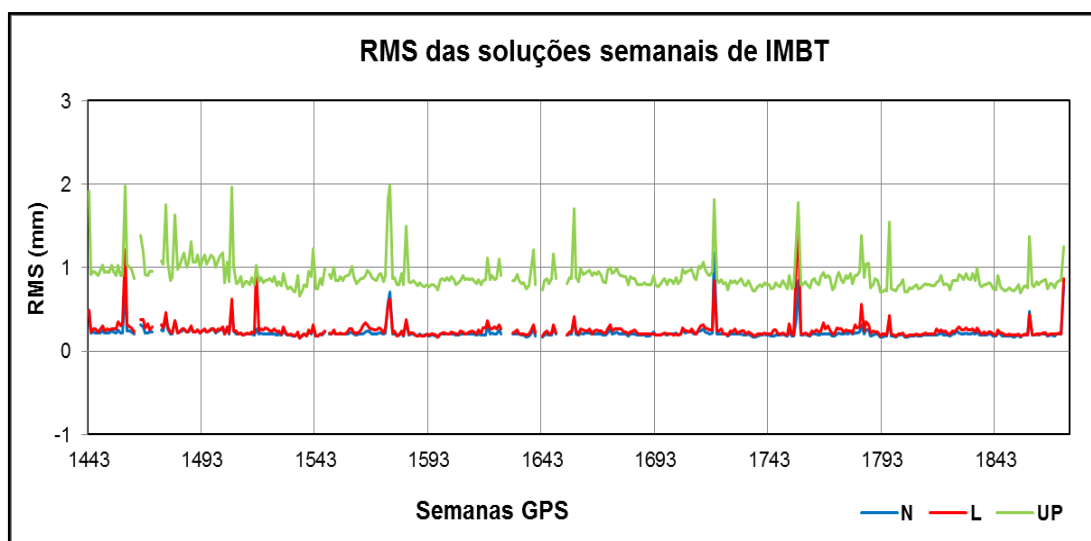


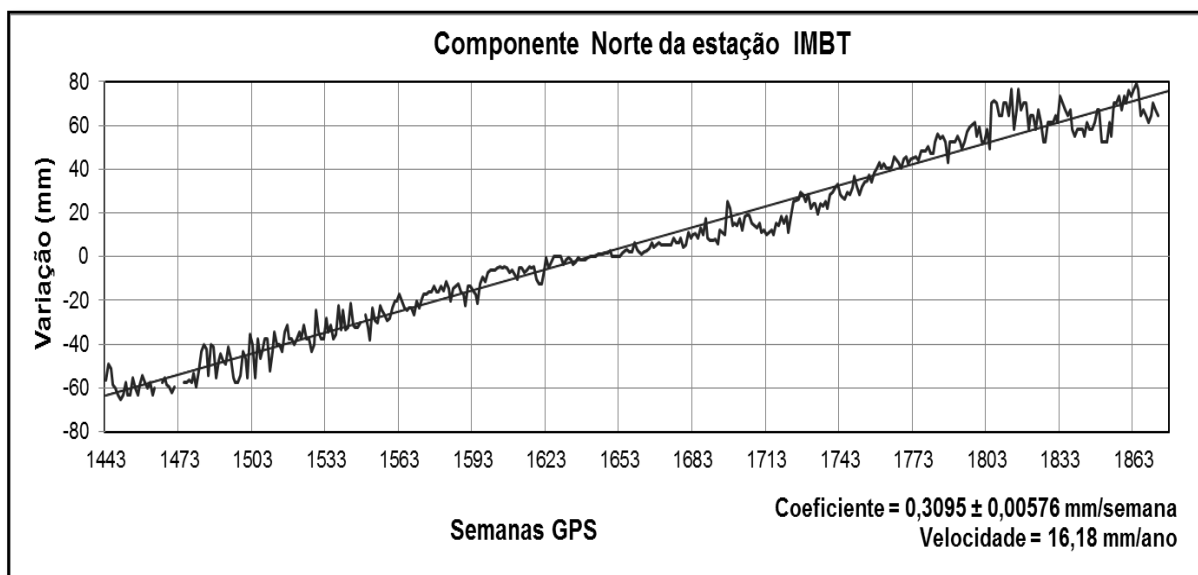
TABELA 37 - ANÁLISE DO RMS DAS COMPONENTES DA ESTAÇÃO IMBT

Precisão	Norte	Semana	Leste	Semana	Vertical	Semana
Média (mm)	0,219	-	0,252	-	0,900	-
Mínima (mm)	0,160	1536	0,160	1687	0,660	1765
Máxima (mm)	1,180	1718	1,600	1660	1,990	1462
Variância (mm ²)	0,007		0,015	-	0,037	-
Desvio Padrão (mm)	0,085	-	0,121	-	0,193	-

Observa-se na Figura 88 e na Tabela 37 que a altitude tem um RMS maior quando comparada com as componentes *N* e *L*. Destaca-se que o RMS da componente *N* variou de 0,16 mm a 1,18 mm, observando a Figura 88 é possível evidenciar que foram poucas semanas que apresentaram RMS superior a 0,5 mm. O RMS da componente *L* variou de 0,16 mm a 1,6 mm, apresentando comportamento similar ao RMS da componente *N*, com poucas semanas onde o RMS é superior a 0,5 mm. Em contrapartida, o RMS da componente *UP* variou entre 0,66 mm a 1,99 mm. Para a componente *UP*, a análise da Figura 88 mostra que poucas semanas apresentaram RMS superior a 1,5 mm.

As Figuras 89, 90 e 91 representam de forma gráfica a variação temporal, o coeficiente de variação e a velocidade das três componentes da estação IMBT. Como resultado do processamento das semanas GPS 1443 a 1877, observa-se que há uma subsidência na estação IMBT (componente *UP*), uma taxa de -3,02 mm/ano. Na componente *L* a taxa de variação é de -3,87 mm/ano, em contrapartida na componente *N* a taxa de variação é de 16,18 mm/ano.

FIGURA 89 - VARIAÇÃO TEMPORAL, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO E VELOCIDADE DA COMPONENTE NORTE DA ESTAÇÃO IMBT



Dos resultados já apresentados, verifica-se que o intervalo das semanas GPS de 1473 a 1533 e no intervalo entre 1743 a 1773, as estações apresentaram algumas anomalias, analisando a variação da estação IMBT nas componentes *N*, *L* e *UP*, observa-se que há essas anomalias também. Este fato acontece por

intempéries, mudança de antena, existência de alguma influência de ordem sazonal, entre outros fatores.

FIGURA 90 - VARIAÇÃO TEMPORAL, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO E VELOCIDADE DA COMPONENTE LESTE DA ESTAÇÃO IMBT

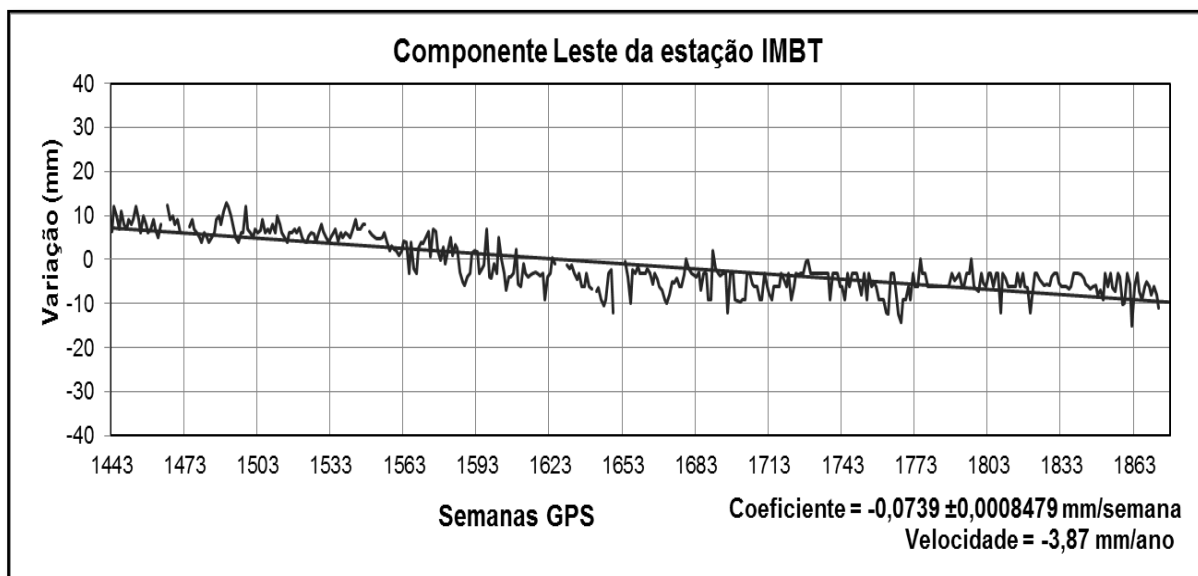
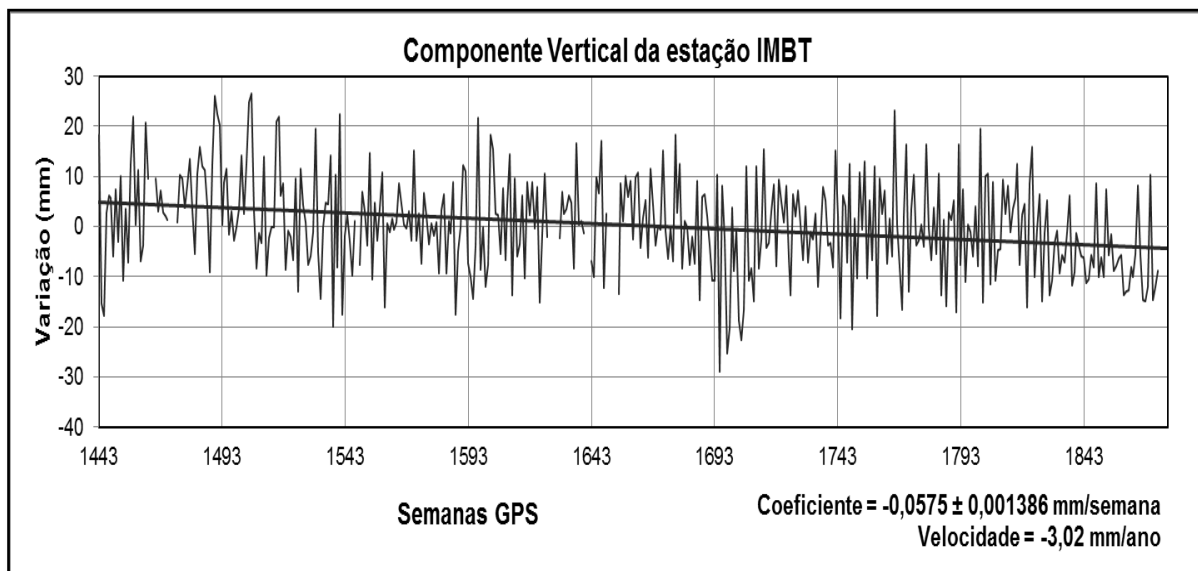


FIGURA 91 - VARIAÇÃO TEMPORAL, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO E VELOCIDADE DA COMPONENTE VERTICAL DA ESTAÇÃO IMBT



Desta forma a combinação final da estimativa de velocidades para a estação IMBT manteve-se os resultados das soluções semanais referentes aos intervalos das semanas GPS 1473 a 1533 e 1743 a 1773, uma vez que não são todas que

apresentam discrepância. Sendo assim, o coeficiente de variação da componente L é de $-0,0739$ mm/semana. Enquanto que, o coeficiente de variação da componente N é de $0,3095$ mm/semana. O coeficiente de subsidência da componente UP é de $-0,0575$ mm/semana.

Diante dos argumentos apresentados destaca-se que a estimativa da tendência determinada para a estação IMBT pode ser utilizada para determinação da posição geocêntrica do marégrafo do DVB-I, pois apresenta uma série temporal com mais de 5 anos de processamento de dados e a série temporal gerada está em consonância com a elaborada pelo IBGE e SIRGAS.

Os resultados mostrados na Figura 53 (série maregráfica) e na Figura 91 (variação da componente vertical) foram gerados visando à eliminação de possíveis movimentos da crosta das variações relativas do NMM junto ao DVB-I, possibilitando a geração de variações absolutas do NMM e a comparação da série maregráfica com a série proveniente dos dados da altimetria por satélite (discussão no capítulo 6).

6. INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DOS DADOS MAREGRÁFICOS, OBSERVAÇÕES GNSS E DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES

No presente capítulo são abordados os principais aspectos associados à integração de dados advindos da altimetria por satélites com dados maregráficos. De forma mais central são abordados os resultados obtidos acerca de sua evolução temporal, para isto utilizaram-se: a série temporal maregráfica adicionada com a série da componente vertical GNSS e sua integração à série proveniente da altimetria por satélites.

6.1 VANTAGENS DA INTEGRAÇÃO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS COM ALTIMETRIA POR SATÉLITES

Os marégrafos e os satélites altímetros são utilizados para obtenção das observações do NM de forma pontual e do NM ao longo de perfis, respectivamente. As séries temporais obtidas da técnica de altimetria por satélites quando comparadas às séries de observações maregráficas são muito curtas, mas sua utilização proporciona mensurações absolutas, onde se obtém o NMM com uma grande cobertura espacial, porém com baixa resolução temporal, em geral com ciclos de revisita de dez a trinta a cinco dias. Em contrapartida as séries temporais dos marégrafos têm resolução espacial apenas pontual, mas são, em geral, mais longas, até centenárias em alguns marégrafos, e possuem alta resolução temporal.

A integração das observações advindas de marégrafos com as distintas missões de altimetria por satélites possibilita ganhos na estimativa das variações do NM em escala regional e global (DALAZOANA, 2006). Adicionalmente, as observações advindas da altimetria por satélites permitem a recuperação das informações do NM dos marégrafos que possuem dados descontínuos ou que ficaram inoperantes; permitem estimar a TNMM e verificar a estabilidade dos radares altímetros de outras missões. Vale destacar que os marégrafos e GNSS também são utilizados para se verificar a estabilidade dos radares altímetros, assim como as soluções *crossover* de distintas missões.

Segundo Liebsch et al. (2002), o uso de observações das diferentes missões de altimetria por satélites torna possível a investigação de fenômenos

oceanográficos, atualmente por um período de cerca de 26 anos. Além disso, com a utilização de dados de distintas missões altimétricas melhora-se a resolução espacial e temporal das séries temporais da altimetria por satélite (SCHWATKE et al., 2013; SCHWATKE et al., 2015).

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos visando à comparação de dados maregráficos e dados provenientes da altimetria por satélites, assim como a integração de distintas missões para melhoria na resolução espacial e temporal. Dentre eles pode-se destacar: Fenoglio e Belikov (1994) investigaram os dados das missões ERS-1 e T/P e dados maregráficos; Mitchum (1994) realizou a comparação entre dados maregráficos e a missão T/P; Nerem et al. (1994) realizaram uma avaliação preliminar da topografia do oceano utilizando as missões T/P; Yi (1995) utilizou as missões T/P, ERS-1 e Geosat para determinar uma superfície média do mar; Le Traon e Ogor (1997) realizaram melhorias nas órbitas das missões ERS-1/2 utilizando as missões T/P; Hwang et al. (1998) utilizaram dados das missões Seasat, Geosat, ERS-1 e T/P para análise das anomalias da gravidade marinha; Acuña et al. (2002) utilizaram dados maregráficos e dados das missões T/P, ERS-1 e ERS-2; Bosch (2002) mostrou como a *SSH* é derivada das missões T/P para realizar a correlação entre as séries altimétricas e registros maregráficos; Liebsch et al. (2002) realizaram comparações entre a altitude da superfície do mar derivada das missões Geosat, ERS-1, ERS-2 e T/P com observações maregráficas.

Como melhoria na série temporal do NMM do mar para o DVB-I, utilizou-se dados de altimetria por satélite para completar os períodos de dados descontínuos, sendo os dados de distintas missões altimétricas, os quais correspondem a aproximadamente 25 anos, de dados trabalhados. Estes dados foram utilizados para comparação com a série maregráfica.

6.2 ABORDAGENS GERAIS DA COMPARAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO NMM A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS E DOS DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES

Dalazoana (2006) realizou a comparação das séries temporais de mais de um marégrafo com os dados provenientes da altimetria por satélite. A autora para realizar essa comparação apresentou os aspectos mais importantes a serem considerados quando se realiza esse procedimento. Adicionalmente, sugere as

abordagens a serem seguidas na comparação relativa das séries maregráficas com as dos dados provenientes da altimetria por satélite. Também sugere estratégias para realizar a comparação absoluta já com a distinção do movimento da crosta.

Para realizar a comparação, verificação e validação das observações da altimetria por satélite utilizou-se as observações do NM obtidas do marégrafo de Imbituba com as altitudes da superfície do mar obtidas das missões altimétricas. Destaca-se que o processo de comparação das séries temporais apresenta alguns problemas, como apresentados por Dalazoana (2006) e em distintas referências que foram citadas no subitem (6.1). Sendo assim, destacam-se:

1. As observações não se referem aos mesmos instantes de tempo, pois as séries não possuem a mesma amostragem temporal. As séries temporais maregráficas podem ser disponibilizadas em distintas amostragens, horária, diária, mensal, anual. Já as missões altimétricas podem realizar observações em um mesmo local, por exemplo, a cada 9,9156 dias, para os satélites T/P e JASON. Sendo assim, para compatibilizar as séries maregráficas com as provenientes de dados altimétricos é necessário realizar uma filtragem ou reamostragem de uma das séries.
2. As observações não possuem o mesmo Sistema de Referência Vertical, não sendo possível realizar a comparação absoluta das séries temporais. As missões de altimetria por satélites, também, têm distintos Sistemas de Referência (distintos elipsoides). Havendo a possibilidade a partir do conhecimento da posição geocêntrica do marégrafo, para isto utilizam-se as séries temporais derivadas das observações GNSS.
3. É necessário considerar a variabilidade espacial da superfície do mar entre o local de observações do marégrafo e do altímetro, porque geralmente os marégrafos não estão instalados nas trilhas dos satélites altímetros (LIEBSCH et al., 2002). Uma das alternativas é extrapolar os dados altimétricos até a costa.
4. Os dados provenientes da altimetria por satélite perdem a resolução quando se aproximam da costa devido às perturbações existentes nas curtas profundidades, e devido à interferência no sinal de retorno pelo terreno. Ou seja,

o maior problema refere-se ao radiômetro utilizado para modelar a refração troposférica, que passa a ter distorções quando parte de seu cone de irradiação passa a atingir porções continentais.

Na busca para minimizar os 4 problemas apresentados, existe a possibilidade de seguir alguns procedimentos baseados nas 3 soluções abaixo:

1. Reprocessar os dados brutos de altimetria por satélites visando eliminar os efeitos costeiros, através do *re-tracking* que é baseado na análise do sinal de retorno e serve para melhorar os dados de altimetria por satélites próximos da costa (Heidland, 1994). Segundo Seeber (2003, p.454), para essa melhoria diferentes técnicas são levadas em consideração, dependendo das características da superfície refletora: água, gelo continental, gelo marinho *etc.* O projeto COASTALT vem desenvolvendo trabalhos com processamento de dados em altimetria por satélites em áreas costeiras, como já mostrado no subitem 2.7.
2. Trabalhar com dados de distintas missões, considerando as influências e variabilidade na região e não apenas ao longo da trilha.
3. Como as séries temporais do marégrafo e do altímetro referem-se a posições geográficas diferentes torna-se necessário considerar as variações temporais e espaciais da superfície do mar entre o marégrafo e o ponto das mensurações do altímetro, ou seja, extrapolar os dados provenientes de missões altimétricas até a costa. Vale destacar que a extrapolação pode ser realizada de distintas formas.

Bosch (2003), Dalazoana (2006) e Schwatke et al. (2013) realizaram comparações relativas entre as séries temporais das observações maregráficas com as séries de *SSH* derivadas de distintas missões altimétricas, onde consideraram os pontos na trilha do satélite que mais se aproximavam do marégrafo, assim como o ponto que havia máxima correlação entre as duas séries. Isto devido que nem sempre o ponto mais próximo da costa é o de máxima correlação. Então, os estudos destes autores indicaram que as comparações têm mostrado coeficientes de correlação acima de 0,8.

Dalazoana (2006) desenvolveu uma metodologia e analisou os dados dos marégrafos de Cananeia e Ilha Fiscal, pois possuíam longas séries temporais e estavam favoravelmente localizados em relação às trilhas dos satélites T/P. Verificou as variações do nível do mar e comparou estas séries com dados de altimetria por satélites. Destaca-se também que a autora realizou testes preliminares para o marégrafo de Imbituba, mas não existiam muitas observações disponibilizadas, em formato digital, apenas em maregramas.

6.3 DADOS UTILIZADOS PROVENIENTES DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS

Foram utilizados os dados disponíveis no site do DGFI (*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut*), mais precisamente do *Open Altimeter Database* (OpenADB). Destaca-se que os dados fornecidos para as diferentes missões já possuem certo grau de processamento, mas que dependendo do objetivo da pesquisa é necessário realizar alguns ajustes ou correções. Como se busca solucionar a questão de dados descontínuos do marégrafo trabalhou-se com distintas missões altimétricas.

Os dados das missões altimétricas disponibilizados no BD do DGFI estão em formato binário (NETCDF). Seguem uma estrutura sequencial, usualmente hierárquica, onde a missão corresponde n ciclos e m passes. Geralmente, a partir dos ciclos se identificam o período de repetição, onde os passes das trilhas (em inglês *ground track*) significam a projeção da órbita do satélite na superfície da Terra, e o satélite realiza as observações. Estas em função de sua passagem em determinada região são ascendentes e descendentes. A intersecção entre um passe ascendente e descendente refere-se aos pontos de *crossover*.

Para se obter tanto a cobertura espacial quanto a resolução temporal é necessário realizar uma combinação de dados obtidos a partir de diferentes missões com diferentes padrões de recobrimento. Os dados de todas as missões altimétricas disponibilizados no BD do DGFI já foram anteriormente calibrados e corrigidos, assim como combinados. Sendo assim, foi possível a combinação dos produtos de todas as missões, nesta pesquisa. Vale ressaltar que a combinação de dados de diferentes missões espaciais requer a padronização dos dados bem como dos sistemas de referência. Salienta-se que os elipsoides utilizados pelas distintas

missões da altimetria por satélite também são diferentes, como pode ser visto na Tabela 38.

TABELA 38 - PARÂMETROS RELEVANTES DOS ELIPSOIDES DE REFERÊNCIA

Parâmetros	T/P, JASON-1 e 2	ERS-1 e 2, ENVISAT e SARAL	WGS-84	GRS-80
Semieixo maior (a) - m	6378136,300000	6378137,000000	6378137,000000	6378137,000000
Semieixo menor (b) - m	6356751,600563	6356752,314245	6356752,314245	6356752,314140
Achatamento (1/f)	1:298,257	1:298,257223563	1:298,257223563	1:298,257222101
Excentricidade (e)	0,081819221456	0,081819190843	0,081819190843	0,0818191910435

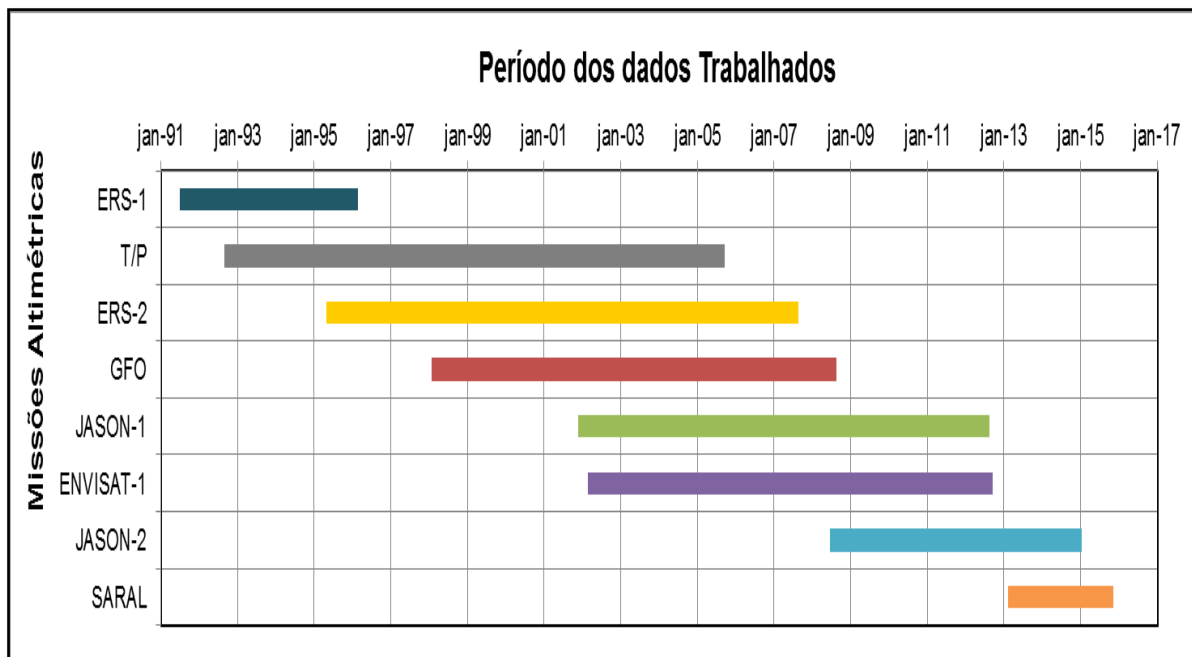
FONTE: Adaptado de Keyzers et al. (2013)

Observa-se na Tabela 38 que os parâmetros do elipsoide de referência das missões altimétricas ERS-1 e 2, ENVISAT e SARAL, são iguais aos parâmetros do elipsoide de referência relacionado ao WGS-84.

Neste estudo foram utilizados dados derivados de oito missões altimétricas em sua configuração orbital original, os dados englobam um período de aproximadamente vinte e cinco anos (julho de 1991 a setembro de 2015), como apresentado na Figura 92.

Observa-se na Figura 92 que a missão T/P apresenta o maior período de dados, mas, como se tem a série temporal GNSS do período de 2007 a 2015, escolheu-se a missão JASON-2 para ser utilizada na comparação com a série maregráfica. Esta missão foi escolhida para verificar a metodologia que será então empregada em todas as outras missões apresentadas anteriormente. Como a missão JASON-2 teve duração do ano de 2008 a 2015 e a série da RMPG tem observações de 2006 a 2016, serão utilizados aproximadamente sete anos para comparação. Essa metodologia foi desenvolvida por Dalazoana (2006) para os marégrafos de Ilha Fiscal e Cananéia, assim como testes preliminares para o marégrafo de Imbituba.

FIGURA 92 - PERÍODO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS ADVINDOS DA ALTIMETRIA POR SATÉLITE



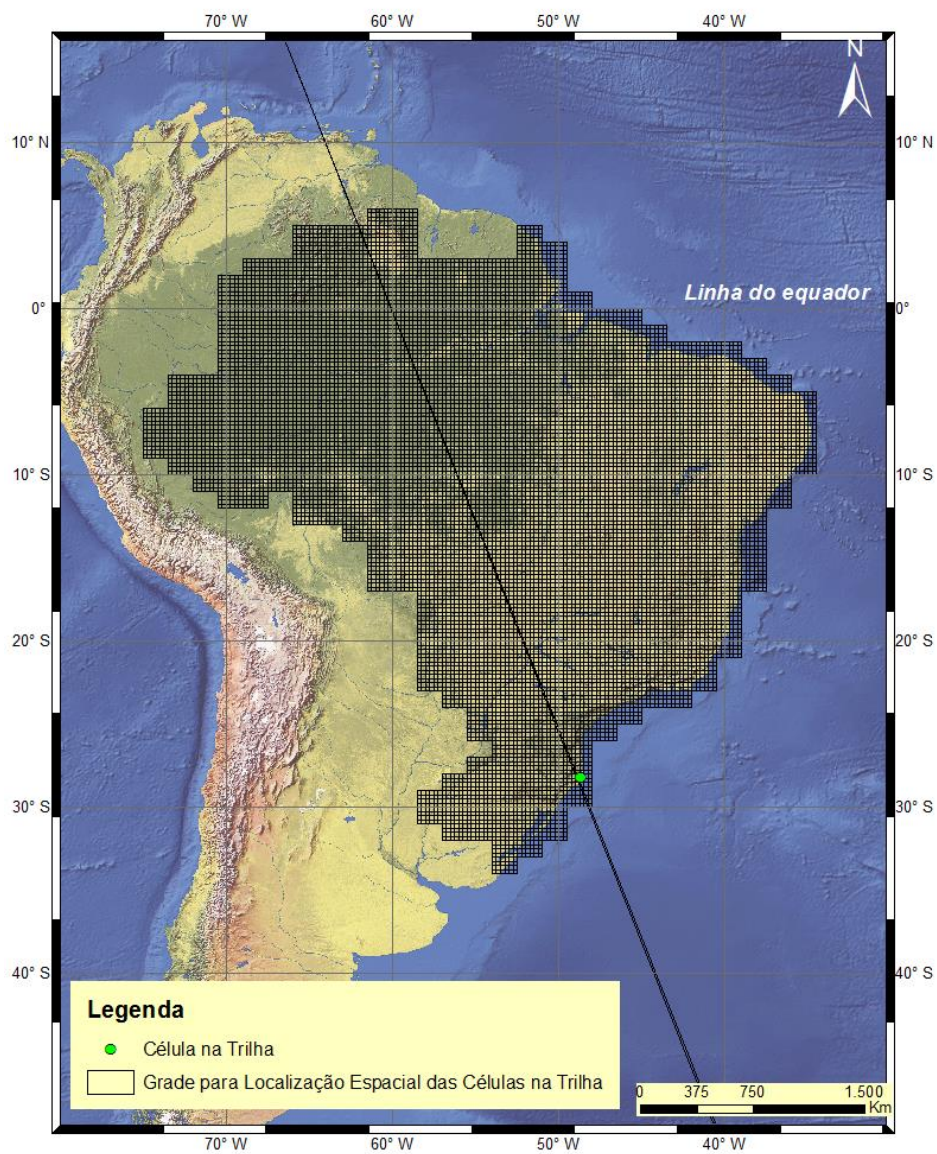
A comparação, da série altimétrica com a maregráfica, foi feita com base em valores de altura do nível do mar (*SSH*) do banco de dados do DGFI. O banco de dados do DGFI é organizado de forma que cada valor de *SSH* está relacionado a uma célula definida ao longo da trilha do satélite. Cada célula possui comprimento suficiente para que a ela seja relacionado ao menos um valor de *SSH* em cada ciclo. O comprimento da célula está relacionado com a amostragem dos dados que é fornecida para os usuários, a taxa de amostragem fornecida é de 1 Hz (1 observação por segundo), considerando a velocidade do satélite isso resulta em 1 observação a cada ± 7 km de comprimento contadas a partir da linha do equador. Vale destacar que a taxa de coleta de dados realizada pelo satélite é muito maior que 1 observação a cada 7 km. Desta forma é possível gerar séries temporais de *SSH* em cada célula.

A Figura 93 mostra um exemplo da distribuição dos dados de *SSH* para uma célula localizada nas proximidades da costa brasileira, cada ponto indica um valor de *SSH* obtido em uma célula específica durante o período da missão JASON-2. A Figura 94 mostra a localização espacial da célula (círculo verde) na trilha do satélite (reta em preto) e a grade para localização espacial das células na trilha. Foi gerada a grade para facilitar a identificação da célula mais próxima do marégrafo.

FIGURA 93 - DISTRIBUIÇÃO DE DADOS SSH EM UMA CÉLULA DA MISSÃO JASON-2

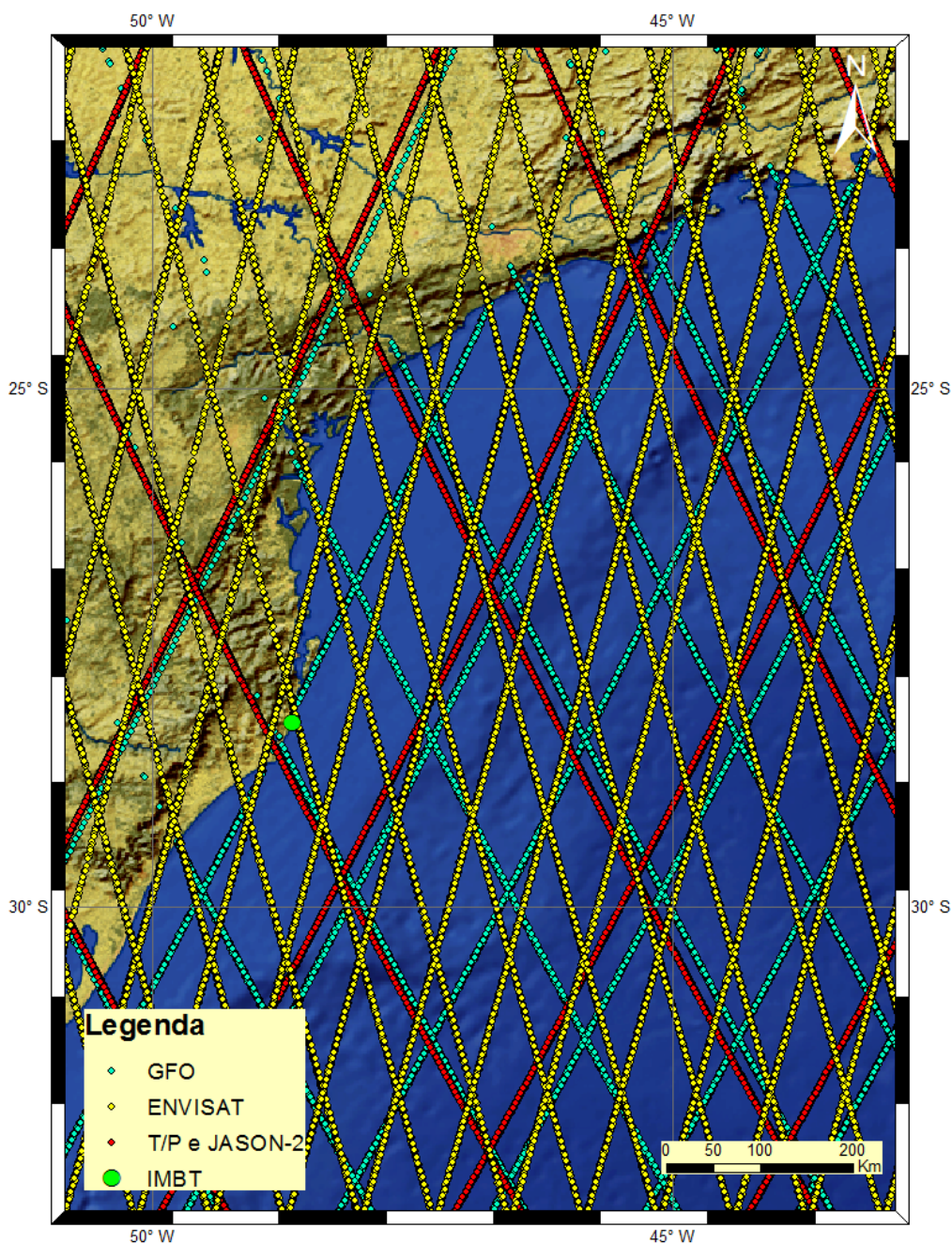


FIGURA 94 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA CÉLULA NA TRILHA DO SATÉLITE



A Figura 95 apresenta a localização da estação maregráfica de Imbituba na costa brasileira, assim como as trilhas dos satélites T/P e JASON-2, ENVISAT e GFO.

FIGURA 95 - TRILHAS ORIGINAIS DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS T/P E JASON-2, ENVISAT-1 E GFO



Assim como se utilizou a série da RMPG para comparação, a série disponibilizada pela UHSLC foi utilizada para comparação com outras missões altimétricas, uma vez que as observações vão de 2001 a 2007. No trabalho serão

apresentadas as séries com as comparações da RMPG com os dados provenientes da missão JASON-2. Os demais testes realizados, considerando outras missões altimétricas, serão apresentados de forma sucinta.

6.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS DE ALTIMETRIA POR SATÉLITES

Os dados das missões altimétricas do BD do DGFI utilizados nesta pesquisa, segundo Schwatke et al. (2010), têm aplicadas às medições as correções geofísicas (marés e atrasos atmosféricos) para cada perfil de todas as missões disponíveis dos satélites altímetros. Assim como, anteriormente já foram calibrados e corrigidos, assim como combinados.

Segundo Bosch (2003), as correções de marés oceânicas são necessárias e foram realizadas utilizando o modelo *Global Ocean Tide Model* (GOT99.2b). Outra correção necessária é o efeito do barômetro inverso que pode ser aplicada aos dados de altimetria por satélites. Este efeito corresponde à resposta do oceano às flutuações da pressão atmosférica, ou seja, corresponde às deformações na superfície do mar devido às variações da pressão atmosférica. Segundo Dalazoana (2006), em função da necessidade imposta pelos estudos eventualmente é necessário retirar ou adicionar correções aos valores de *SSH*.

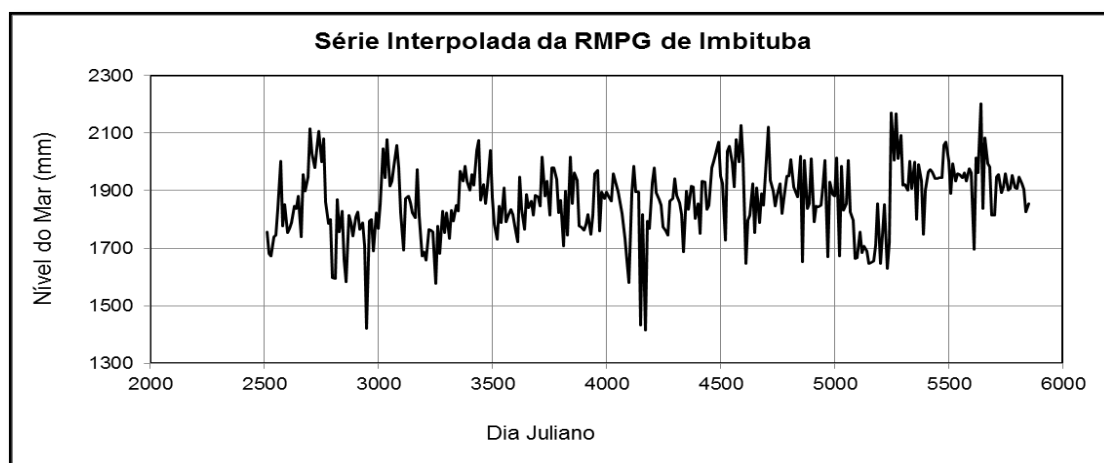
Os dados no BD do DGFI encontram-se armazenados em formato binário. Para se realizar a leitura destes arquivos e para análise das informações específicas foram desenvolvidas nesta pesquisa rotinas em linguagem *Python*. Também foi necessário desenvolver rotinas para análise das informações maregráficas, devido à necessidade de se ter as informações no mesmo instante de tempo dos dados provenientes da altimetria por satélites.

Os dados da *SSH* utilizados para análise foram considerados dentro do intervalo de $SSH_M \pm 3\sigma$. Destaca-se que SSH_M é o valor médio da *SSH* para o período analisado e σ o desvio padrão da média. Evidencia-se que a série temporal das observações maregráficas é horária e o efeito do barômetro inverso não foi corrigido. Como é necessário que as séries temporais sejam compatíveis, foi preciso eliminar as correções das marés oceânicas e barômetro inverso que estavam aplicadas aos valores de *SSH*. Isto foi realizado para que se possa assumir que tanto os marégrafos como os satélites altímetros estão observando o mesmo sinal oceanográfico.

Para reamostragem da série maregráfica do NM em Imbituba obtida da RMPG (horária) no mesmo instante de tempo das séries de *SSH* da altimetria por satélites, realizou-se interpolação cúbica. Os detalhes do desenvolvimento da interpolação cúbica podem ser vistos em Alves et al. (2005). Destaca-se que esse processo também foi realizado para as séries temporais maregráficas horárias do NM obtidas da UHSLC. Os valores de *SSH* vêm com dia Juliano, então as séries maregráficas foram colocadas na mesma referência temporal. Neste trabalho o dia Juliano 0 foi estabelecido como às 12:00 horas TU de 1/1/2000. As Figuras 96 e 97 apresentam a série temporal do marégrafo de Imbituba, gerada com as observações disponibilizadas pela RMPG e pela UHSLC interpoladas de forma a permitir a comparação relativa com os dados dos satélites altímetros, respectivamente.

Na comparação entre observações maregráficas e dados provenientes de missões altimétricas, duas situações são consideradas possíveis e importantes a serem levadas em conta: as observações maregráficas precisam ter a mesma amostragem dos dados dos satélites altímetros; e é preciso trabalhar com uma série temporal de observações maregráficas com no mínimo 5 anos.

FIGURA 96 - SÉRIE INTERPOLADA E REAMOSTRADA DE IMBITUBA, DADOS DISPONIBILIZADOS PELA RMPG

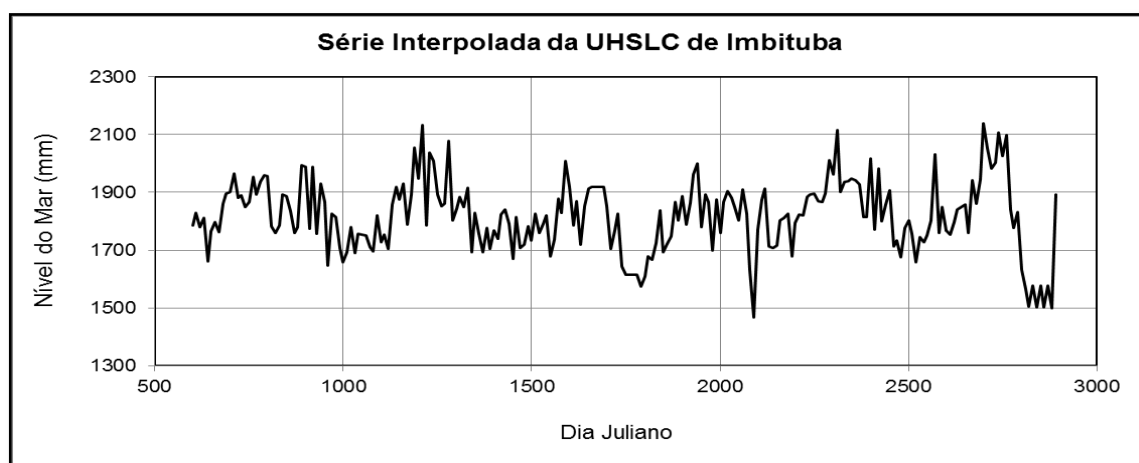


Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

Nesta pesquisa para comparação das séries de observações maregráficas com as séries de *SSH* foi preciso considerar a trilha do satélite mais próxima do marégrafo. A comparação foi feita considerando as 71 células mais próximas do marégrafo. Destaca-se que o conjunto de células compreende dados localizados até

aproximadamente a 500 km da costa. Sendo assim o mais importante é considerar a célula mais próxima da costa onde o desvio padrão das observações ainda se situa dentro de valores aceitáveis por não terem sido afetados por efeitos costeiros.

FIGURA 97 - SÉRIE INTERPOLADA E REAMOSTRADA DE IMBITUBA, DADOS DISPONIBILIZADOS PELA UHSLC



Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

A Tabela 39 apresenta os ciclos e os passes dos satélites altímetros, considerados nesta pesquisa. A partir destas informações, gerou-se a série temporal da *SSH* para cada uma das 71 células mais próximas da costa para cada missão altimétrica, mas graficamente apresentam-se apenas as séries para a missão do JASON-2. Essas séries foram utilizadas para cálculo da estimativa do NMM em Imbituba além de preencher as séries descontínuas do mareógrafo. Destaca-se que foram considerados os passes mais próximos do mareógrafo, no caso o passe “*n*” descendente de cada missão. Na Figura 95 foram apresentadas trilhas de algumas missões, onde se observou que as missões ENVISAT-1 e GFO, também, possuem passe “*n*” ascendente próximo do mareógrafo de Imbituba. Mas com as análises em relação à correlação e o desvio padrão, o passe descendente destas missões apresentaram melhores resultados.

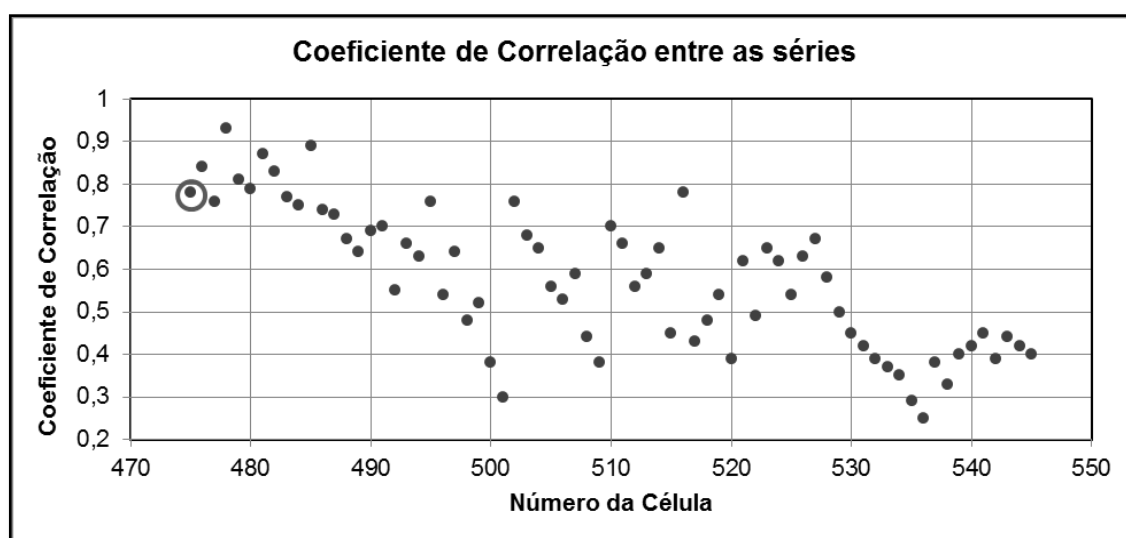
As séries geradas com a *SSH* das missões altimétricas foram comparadas com a série temporal derivada das observações mareográficas, interpoladas para os instantes de observação da *SSH* dos altímetros. Realizou-se a comparação para que se tivesse em um mesmo sistema de referência temporal e assim fosse possível realizar a integração das séries dos altímetros com as séries mareográficas.

TABELA 39 - CICLOS E PASSES DAS MISSÃO ALTIMÉTRICAS UTILIZADOS NA ANÁLISE

SATÉLITE	PERÍODO DA MISSÃO	CICLO	PASSE
ERS-1	07/1991 - 03/1996	88-155	807
T/P	09/1992 – 08/2002	1-364	152
T/P - EM	09/2002 – 10/2005	369 - 480	176
ERS-2	05/1995 – 09/2007	1-84	807
GFO	02/1998 – 09/2008	159-222	293
JASON-1	12/2001 – 01/2009	1-259	152
JASON - EM	02/2009 – 09/2012	263-283	152
ENVISAT-1	03/2002 – 10/2012	7-93	807
JASON-2	07/2008 – 02/2015	1- 262	152
SARAL	03/2013 – Em operação	1-27	163

Para todas as missões altimétricas foram feitas comparações utilizando como base o coeficiente de correlação e o desvio padrão entre as séries temporais do marégrafo e na célula. A Figura 98 apresenta a correlação entre as séries temporais, identificando qual a célula que mais se aproxima da costa, utilizando dados da missão JASON-2.

FIGURA 98 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS MAREGRÁFICA E DA MISSÃO ALTIMÉTRICA JASON-2



A Figura 99 apresenta o desvio padrão das diferenças entre as séries temporais do marégrafo e do satélite altímetro JASON-2. Em contrapartida a Figura 100 apresenta a quantidade de dados SSH em cada célula para a missão JASON-2.

Destaca-se que se utilizou esta missão devido à disponibilização dos dados estar no período de disponibilidade da série temporal maregráfica da RMPG, e a série temporal das observações GNSS serem do período de setembro de 2007 a janeiro de 2016.

FIGURA 99 - DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS MAREGRÁFICA E DA MISSÃO ALTIMÉTRICA JASON-2

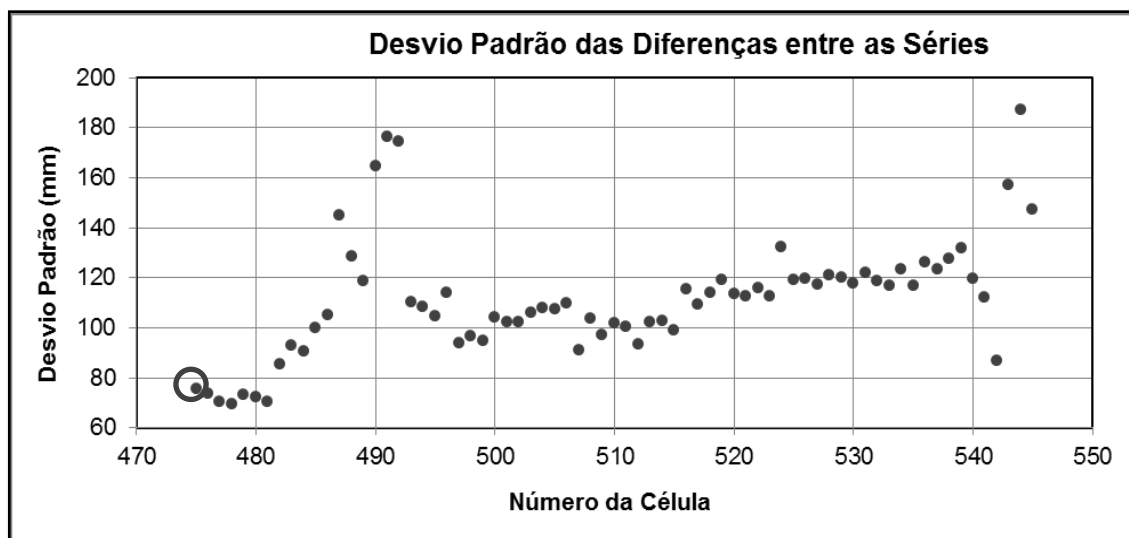
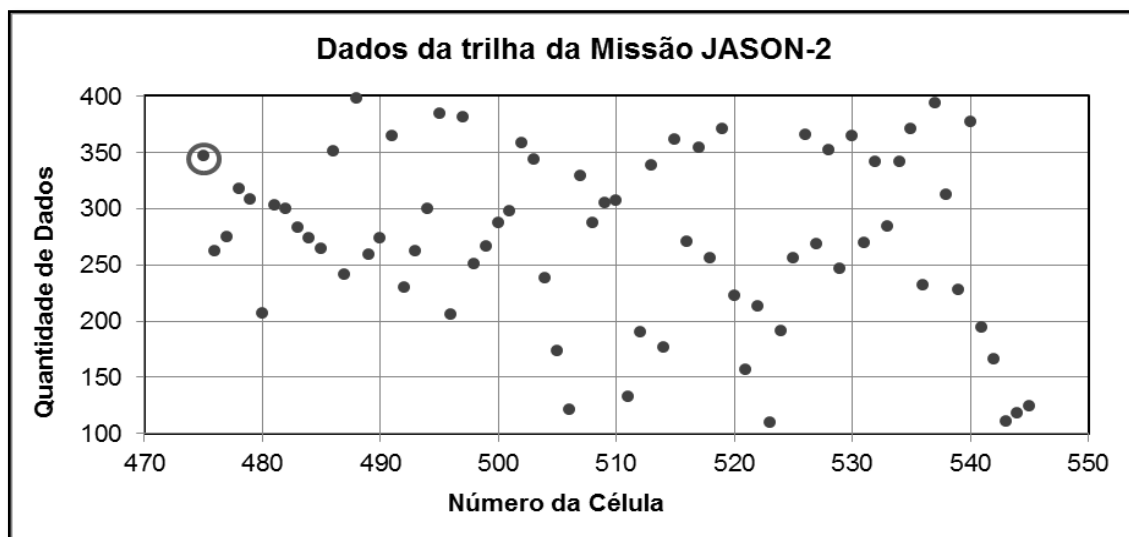


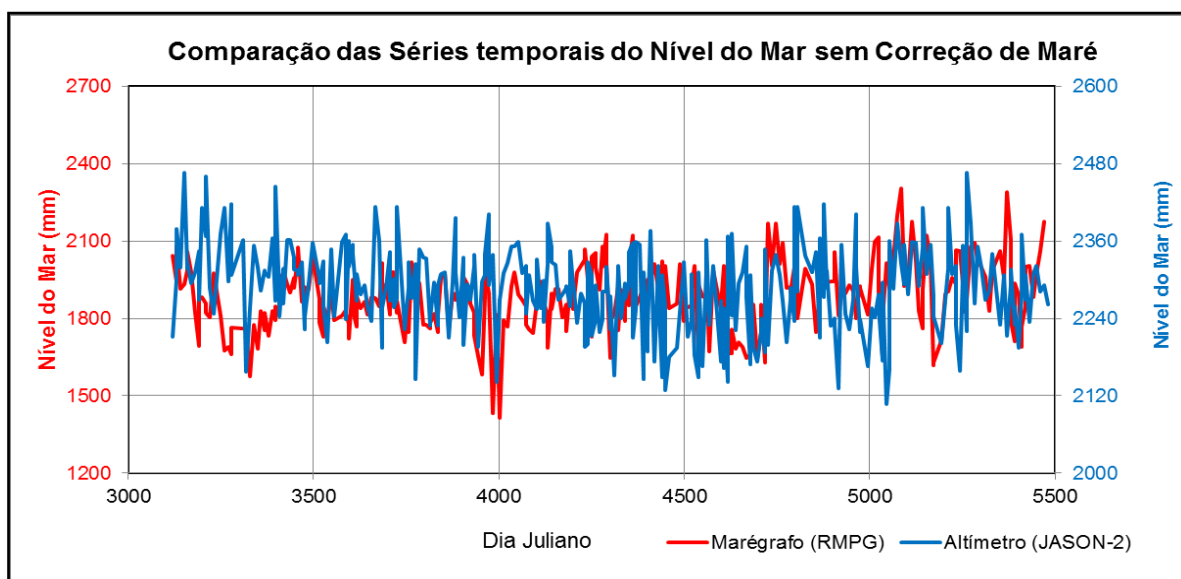
FIGURA 100 - QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEIS EM CADA CÉLULA DA SÉRIE TEMPORAL DA MISSÃO JASON-2



Observa-se nas Figuras 98 e 99 que a célula mais próxima da costa (cerca de 56 km) é a de número 475, com coeficiente de correlação de 0,78 e desvio

padrão de 76 mm. Porém, os melhores resultados foram obtidos para a célula 478 (cerca de 77 km), com coeficiente de correlação de 0,93 e desvio padrão de 69 mm. Após as análises das células das missões, realizou-se a comparação relativa entre a série temporal maregráfica e a série temporal da missão JASON-2, uma vez que as duas séries não possuem zeros de referências iguais, como se apresenta na Figura 101.

FIGURA 101 - COMPARAÇÃO RELATIVA DAS SÉRIES TEMPORAIS DA CÉLULA 478



Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

Observa-se na Figura 101 que as séries apresentam referenciais diferentes. Para melhorar a comparação das séries no intuito de integrar, aplicou-se uma correção diferencial de maré baseada nas componentes harmônicas (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 e M_4) calculadas para as séries maregráficas como apresentadas no capítulo 4 e calculadas nas células dos dados de altimetria por satélites. Vale destacar que esta correção foi aplicada, pois o local das observações (marégrafos e altímetros) é distinto. As correções nas variações da maré são realizadas em função das observações serem de lugares diferentes (marégrafo está na costa e a célula a dezenas de quilômetros do marégrafo). As informações e os detalhes da análise de marés nos dados de altimetria por satélites podem ser vistos em Le Provost (2001).

Para verificação se houve melhorias após as correções de maré, realizou-se novamente a comparação das séries temporais, assim como antes de realizar as correções, utilizou-se como base para comparação o coeficiente de correlação e o

desvio padrão entre as séries temporais. A Figura 102 apresenta a correlação entre as séries temporais após a correção de maré identificando melhorias na célula identificada na Figura 98 que apresenta a maior correlação. Em contrapartida a Figura 103 apresenta o desvio padrão da diferença entre as séries após a correção de maré, para verificação de melhorias nas diferenças.

FIGURA 102 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS APÓS A CORREÇÃO DE MARÉ

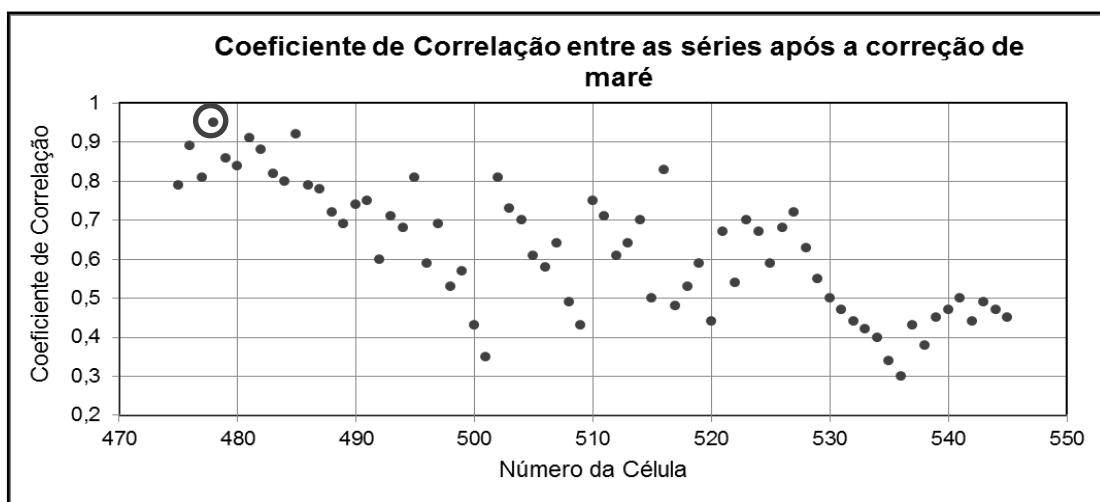
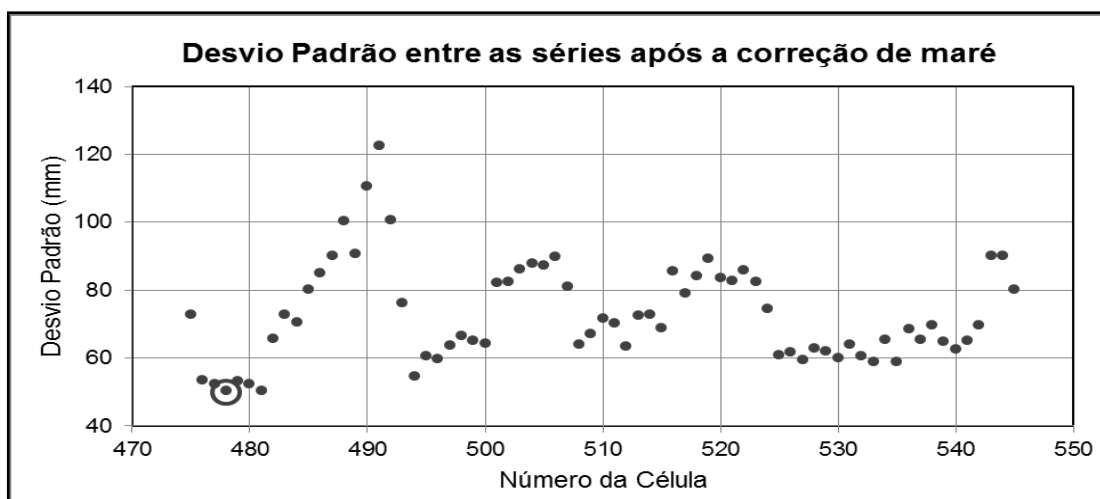


FIGURA 103 - DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES TEMPORAIS APÓS CORREÇÃO DE MARÉ



Analisando a Figura 102, observa-se que a célula que apresenta maior correlação antes da correção de maré possuía um coeficiente de correlação de 0,93, após a correção de maré apresenta um coeficiente de correlação de 0,96. As

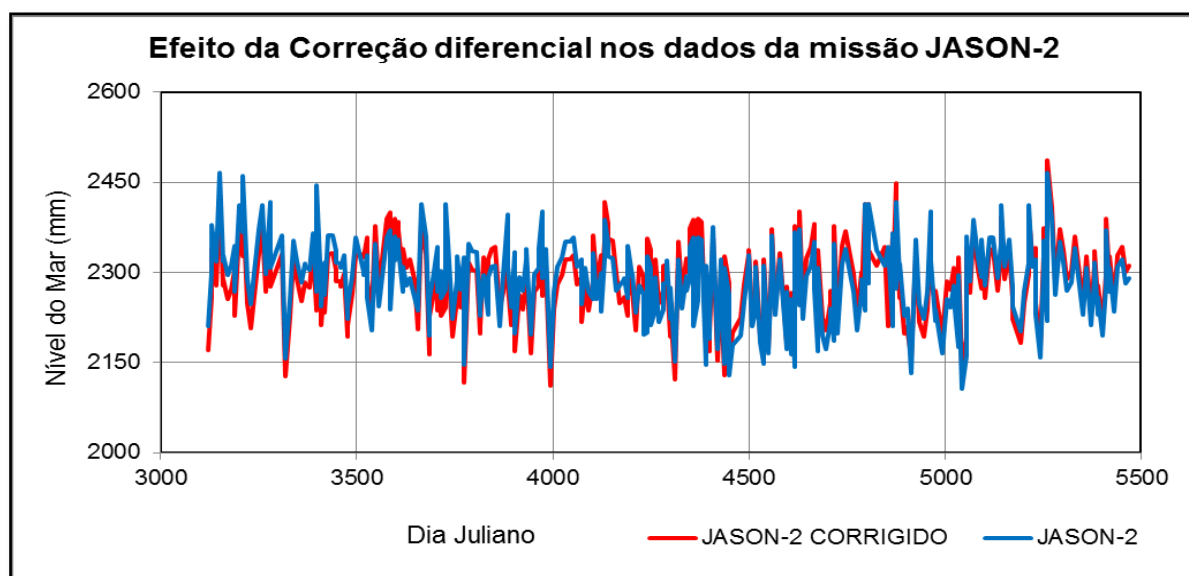
mesmas análises foram realizadas em relação ao desvio padrão (Figura 103), antes da correção o desvio padrão da célula 478 era de 69 mm e após a correção de maré apresenta o desvio de 50 mm. A Tabela 40 apresenta as características de comparação antes e após a correção diferencial de marés, onde se destaca os resultados comparativos da célula com os melhores resultados.

TABELA 40 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ANTES E APÓS A CORREÇÃO DE MARÉ

	Antes da Correção	Após a Correção
Célula	478	478
Coeficiente de correlação	0,93	0,96
Desvio Padrão (mm)	69	50
Distância da Costa (km)	77	77

Após a correção de maré nos dados das missões dos satélites altímetros, gerou-se a série temporal comparativa dos dados da missão altimétrica JASON-2. A Figura 104 apresenta a série comparativa antes e após a correção de maré. Na Figura 105 apresenta-se a comparação relativa da série temporal maregráfica e a os dados da missão JASON-2 após a correção de maré.

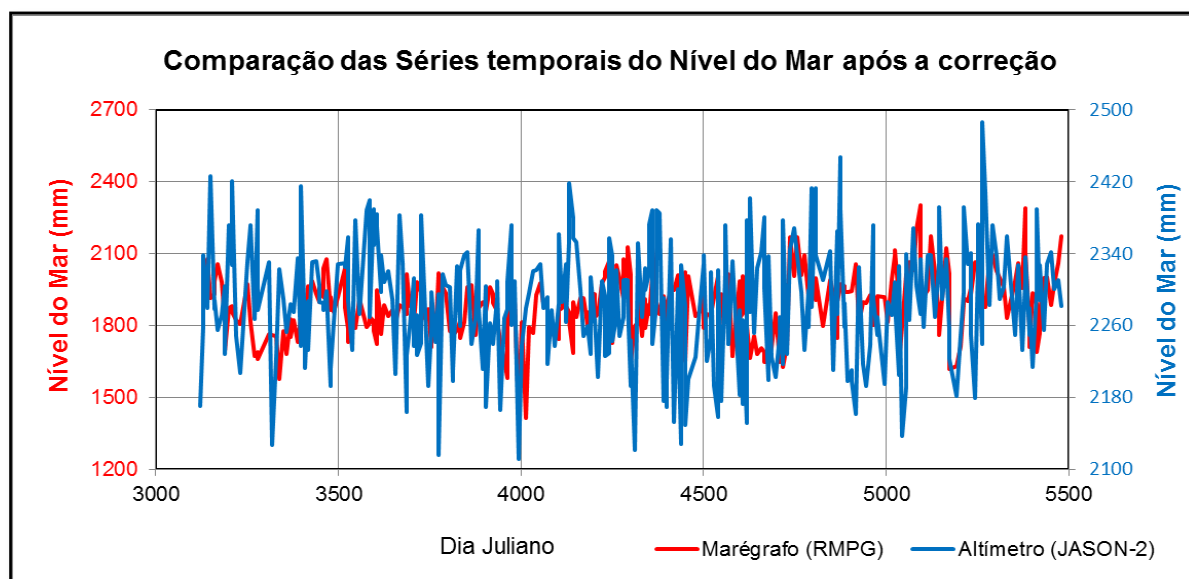
FIGURA 104 - EFEITOS DA CORREÇÃO DE MARÉ NOS DADOS DE ALTIMETRIA DA MISSÃO JASON-2 PARA A CÉLULA 478



Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

Observando-se a Figura 104 é possível evidenciar que após a correção de maré nos dados da missão JASON-2, as séries apresentam aspectos distintos. Comparando a Figura 101 com a Figura 105 é mais visível a correção, pois os dados de altimetria apresentam mais regularidade e estão mais compatíveis com as observações maregráficas.

FIGURA 105 - COMPARAÇÃO RELATIVA DAS SÉRIES TEMPORAIS MAREGRÁFICAS E DA SSH APÓS A CORREÇÃO DE MARÉ PARA A CÉLULA 478



Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

A Tabela 41 apresenta o resumo dos resultados comparativos das séries temporais antes e após a correção diferencial de marés para as missões altimétricas utilizadas nesta pesquisa. Destaca-se que todos os procedimentos foram similares aos empregados para o JASON-2. Como se trata de várias missões colocaram-se apenas os resultados finais.

TABELA 41 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ANTES E APÓS A CORREÇÃO DE MARÉ DOS DADOS DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS

Missão	Célula	Distância	Coeficiente de Correlação		Desvio Padrão	
			Antes	Depois	Antes	Depois
ERS-1	480	91 km	0,93	0,94	61 mm	48 mm
T/P	478	77 km	0,91	0,92	66 mm	55 mm
T/P – EM		-	-	-	-	-

Continua

Missão	Célula	Distância	Conclusão			
			Coeficiente de Correlação		Desvio Padrão	
			Antes	Depois	Antes	Depois
ERS-2	481	98 km	0,89	0,91	92 mm	85 mm
GFO	478	77 km	0,92	0,94	80 mm	63 mm
JASON-1	478	77 km	0,93	0,95	67 mm	56 mm
JASON-2	478	77 km	0,943	0,96	63 mm	50 mm
JASON - EM	-	-	-	-	-	-
ENVISAT-1	478	77 km	0,89	0,9	64 mm	57 mm
SARAL	-	-	-	-	-	-

Analisando as missões da Tabela 41, vale adicionar que a célula mais próxima da costa na missão ERS-1 (cerca de 49 km) é a de número 474, com coeficiente de correlação de 0,56 e desvio padrão de 112 mm, antes da correção de maré. Após a correção obteve-se o coeficiente de correlação de 0,62 e desvio padrão de 130 mm. Porém, os melhores resultados foram obtidos para a célula 480. Em contrapartida a célula mais próxima da costa na missão T/P (cerca de 56 km) é a de número 475, com coeficiente de correlação 0,75 e desvio padrão de 78 mm, antes da correção. Após a correção obteve-se o coeficiente de correlação de 0,81 e desvio padrão de 142 mm. Entretanto, os melhores resultados foram obtidos para a célula 478.

Em relação à missão ERS-2 a célula mais próxima da costa (cerca de 49 km) é a de número 474, com coeficiente de correlação 0,65 e desvio padrão de 136 mm, antes da correção. Após a correção obteve-se o coeficiente de correlação de 0,87 e desvio padrão de 163 mm. Mas, os melhores resultados foram obtidos para a célula 481. Em contrapartida a célula mais próxima da costa na missão GFO (cerca de 56 km) é a de número 475, com coeficiente de correlação 0,73 e desvio padrão de 143 mm, antes da correção. Após a correção obteve-se o coeficiente de correlação de 0,77 e desvio padrão de 152 mm. Todavia, os melhores resultados foram obtidos para a célula 478.

Tanto para a missão JASON-1 quanto para a missão ENVISAT-1, a célula que mais se aproxima da costa é identificada pelo número 475. Antes da correção de maré, com coeficiente de correlação 0,74 e 0,71 e o desvio padrão de 74 mm e 68 mm, respectivamente. Após a correção de maré, com coeficiente de correlação

0,81 e 0,78 e o desvio padrão de 71 mm e 63 mm, respectivamente. No entanto, os melhores resultados foram obtidos para a célula 478.

Com a análise das 71 células próximas à costa, as missões T/P – EM e JASON- EM, não foram utilizadas para comparação devido com a aplicação dos $\pm 3\sigma$, todos os valores da *SSH* foram descartados, isto acontece devido o marégrafo de Imbituba não estar favoravelmente localizado nas trilhas do satélite. Em relação à missão SARAL, esta não foi utilizada devido as 71 células mais próximas a costa apresentarem valores nulos e o desvio padrão das observações não se situam dentro de valores aceitáveis por terem sido afetados por efeitos costeiros. Destaca-se que estas missões foram descartadas para a região de Imbituba. Em outras regiões essas missões possivelmente podem ser utilizadas para ganhos na série temporal.

6.5 EXTRAPOLAÇÃO DOS DADOS DE ALTIMETRIA POR SATÉLITES

Para realizar a extrapolação nesse estudo, foi considerado o estudo realizado por Dalazoana (2006) para os marégrafos de Ilha Fiscal e Cananeia. A partir de um polinômio de segundo grau, estimou-se o valor de *SSH* na célula que correspondia à posição do marégrafo de Imbituba (SSH_{CELMI}) e em cada ciclo era considerado o perfil da *SSH* nas 71 células mais próximas do marégrafo. O polinômio pode ser escrito, segundo Dalazoana (2006), como a equação (82):

$$SSH_{CELMI} = a + b(CELMI) + c(CELMI)^2 \quad (82)$$

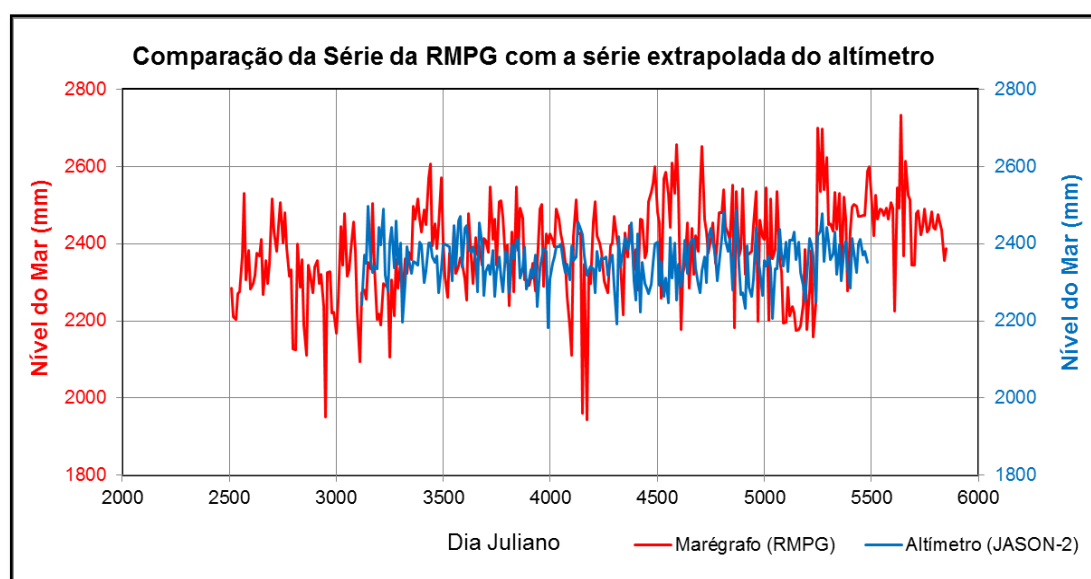
Observa-se na equação (82) que os coeficientes (a, b e c) são calculados em função dos valores da *SSH* nas 71 células evidenciadas mais próximas do marégrafo; *CELMI* é a célula que indicaria à posição do marégrafo, sendo estimada a partir da distância entre o marégrafo e a célula dos dados de *SSH* mais próxima, assim como se leva em consideração o comprimento de 7 km da célula.

Para gerar a série temporal dos valores de *SSH* extrapolados a partir das missões altimétricas, calculou-se para cada ciclo das missões um valor de *SSH*. Para realizar a comparação da série temporal das observações maregráficas com a série gerada para os valores de SSH_{CELMI} , aplicou-se interpolação cúbica, como se

apresentou nas Figuras 96 e 97, nas observações derivadas do marégrafo para o mesmo instante da série temporal do SSH_{CELM} .

Como apresentando no subitem 6.4, observou-se que quando se realiza correção diferencial de maré, os dados são mais compatíveis, sendo assim, a extrapolação foi realizada para os dados dos altímetros com correção. A Figura 106 apresenta a comparação entre a série temporal gerada para as observações maregráficas (dados da RMPG) com a série temporal extrapolada até a costa utilizando a missão altimétrica JASON-2. A Figura 107 apresenta a comparação entre as séries temporais extrapoladas até a costa utilizando as missões altimétricas T/P e JASON-1 com os dados maregráficos oriundos da UHSLC. Vale destacar que se realizou a compatibilização do referencial das missões altimétricas, onde se aplicou a metodologia desenvolvida por Keyzers et al. (2013, p.110) e as informações apresentadas nas Tabelas 4 e 38.

FIGURA 106 - SÉRIE EXTRAPOLADA DOS DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITE DA MISSÃO JASON-2 COM CORREÇÃO DE MARÉ

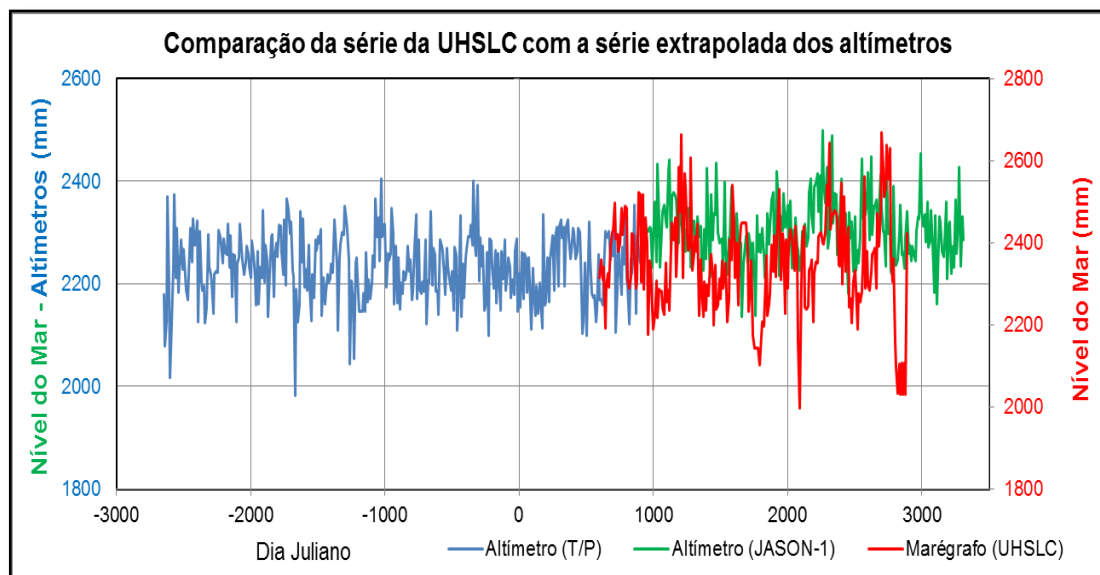


Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

Assim como foi realizada a comparação das duas séries temporais antes da extrapolação através do coeficiente de correlação e desvio padrão, após a extrapolação realizou-se essa comparação para verificação da acurácia das informações. A Tabela 42 apresenta os resultados comparativos das séries temporais com correção diferencial de marés, após a extrapolação das informações

e da interpolação cúbica das observações derivadas do marégrafo para o mesmo instante da série temporal do SSH_{CELCMI} .

FIGURA 107 - SÉRIE EXTRAPOLADA DOS DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITE DAS MISSÕES T/P E JASON-1 COM CORREÇÃO DE MARÉ



Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

Analisando a tendência dos dados SSH na série temporal da Figura 106, obteve-se 2,15 mm/ano; em contrapartida os dados SSH na série temporal da Figura 107 apresenta uma tendência de 1,96 mm/ano.

TABELA 42 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS APÓS A EXTRAPOLAÇÃO

	JASON-2/RMPG	T/P+JASON-1/UHSLC
Coeficiente de correlação	0,88	0,80
Desvio Padrão (mm)	77	79

Para as séries temporais apresentadas nesta seção foram realizadas apenas comparação relativas, para se obter a comparação absoluta entre as duas séries é necessário o posicionamento geocêntrico do marégrafo. Esse posicionamento é possível a partir de informações oriundas do GNSS, como mostrado no capítulo 5. No subitem 6.6 será apresentada a comparação absoluta das séries e então a integração dos dados SSH oriundos das missões altimétricas

utilizadas com os dados maregráficos disponibilizados pelos serviços do PSMSL, UHSLC e RMPG, os quais terão a correção do movimento da crosta.

6.6 DETERMINAÇÃO DO POSICIONAMENTO GEOCÊNTRICO DO DVB-I

A taxa de variação temporal do NM (valores eustáticos) são os valores de tendência de elevação ou de descensão do NM ao longo do tempo (em inglês *trend*). Estas tendências são representativas para a época analisada. Após a distinção do movimento da crosta do NM derivado dos marégrafos pode-se realizar uma comparação absoluta da série maregráfica com a série da altimetria por satélite.

Geralmente o NMM tem um comportamento local distinto quando comparado aos resultados globais, isto decorre do fato de existirem regiões nas quais a tendência é de elevação do NMM e há regiões com tendência de descensão do NMM, como mostrado na Tabela 43. Pode-se supor que a taxa de variação temporal do NMM observada pelo satélite altímetro é a mesma que a variação temporal observada pelo marégrafo com a consideração dos possíveis movimentos da crosta determinada pelo processamento GNSS. Onde se pode escrever na forma da equação (83):

$$Tendência_{Marégrafo} + Tendência_{GNSS} - Tendência_{Altimetria} = 0 \quad (83)$$

Vale destacar que o posicionamento GNSS é muito importante na discriminação dos possíveis movimentos da crosta. A Tabela 43 apresenta uma comparação entre a variação temporal da posição vertical do marégrafo derivada do processamento ou rastreo GNSS e as variações temporais do NMM derivadas das observações maregráficas e da altimetria por satélite, dados obtidos de Bosch (2005), Dalazoana (2006) e Da Silva e De Freitas (2015).

Como pode ser visto na Tabela 43 não foram estimadas possíveis variações verticais da crosta para Ilha Fiscal e Cananéia. Segundo Dalazoana (2006) o marégrafo de Ilha Fiscal não contava com uma estação GPS, já o marégrafo de Cananéia havia uma estação GPS de monitoramento contínuo em suas proximidades. Mas segundo Trabanco (2003, p. 208) em seus estudos não pode concluir uma variação significativa na componente altimétrica das coordenadas em

Cananéia. Em relação ao marégrafo de Imbituba apresentou-se 3 tendências distintas isto ratifica que cada tendência é representativa para a época analisada.

TABELA 43 - TENDÊNCIAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO NMM

<i>Tend</i>_{MARÉGRAFO} (mm/a)	+	<i>Tend</i>_{GNSS} (mm/a)	-	<i>Tend</i>_{ALTÍMETRO} (mm/a)	=	0?	MARÉGRAFO
2,5		-6,5		2,0		6,0	St. Croix/GNAAC ⁽¹⁾
6,9		1,5		8,0		0,4	Bermuda/DGFI00P01 ⁽¹⁾
6,9		0,4		8,0		-0,7	Bermuda/IGS00P09 ⁽¹⁾
4,0		-3,0		2,0		-1,0	Lewes/GODE (DGFI) ⁽¹⁾
8,6		-5,5		-0,7		3,8	Cartagena/CART (DGFI) ⁽¹⁾
2,7		?		-2,1		?	Cananéia ⁽²⁾
-16,0		?		-3,2		?	Ilha Fiscal ⁽²⁾
2,0		-0,2		0,04		1,7	Imbituba ⁽²⁾
2,0		-1,6		0,04		0,4	Imbituba ⁽²⁾
2,23		-0,2		0,02		2,05	Imbituba ⁽³⁾

FONTE: ⁽¹⁾Bosch (2005), ⁽²⁾Dalazoana (2006), ⁽³⁾Da Silva e De Freitas (2015)

As estimativas de tendência dependem da amostragem e do período trabalhado. Adicionalmente devem-se levar em conta as correções aplicadas aos dados, assim como se discriminar possíveis movimentos da crosta e realizar a correção desses efeitos nas observações maregráficas.

Com a utilização de observações maregráfica obtidas dos BD do PSMSL, UHSLC e RBMC dos períodos de setembro de 1948 a dezembro de 1968, agosto de 2001 a setembro de 2007, novembro de 2006 a janeiro de 2016, respectivamente, destaca-se que os dados maregráficos apresentam descontinuidades, as quais foram preenchidas com os dados de altimetria por satélite do período de setembro de 1992 a setembro de 2015. O processamento dos dados GNSS para obtenção da componente altimétrica, do período de setembro de 2007 a janeiro de 2016, auxiliou na determinação da tendência da variação temporal do NMM em Imbituba. A Tabela 44 apresenta as taxas de variação encontradas.

Destaca-se que a tendência do marégrafo de Imbituba foi obtida com os dados do BD da UHSLC e RMPG (Figura 53), a tendência GNSS foi obtida com o processamento dos dados GNSS no Bernese 5.2, onde se utiliza a tendência da coordenada altimétrica (Figura 91) e a tendência do altímetro foi obtida com as

missões altimétricas propostas com a correção oceânica. Vale ressaltar que a tendência estimada foi determinada com a utilização de séries temporais longas e contínuas.

TABELA 44 - TENDÊNCIAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO NMM NO DVB-I

Período	$Tend_{MARÉGRAFO}$ (mm/a)	+	$Tend_{GNSS}$ (mm/a)	-	$Tend_{ALTÍMETRO}$ (mm/a)	=	0?	MARÉGRAFO
1993-1996	-				2,13 ⁽¹⁾		-	Imbituba
1993-2002 ^(*)	2,0		-1,6		0,22 ⁽²⁾		0,18	Imbituba
1995-2007 ^(*)	1,78		-0,7		1,24 ⁽³⁾		-0,16	Imbituba
1998-2008 ^(**)	3,17		-1,7		1,46 ⁽⁴⁾		0,01	Imbituba
2001-2009 ^(***)	3,98		-2,2		1,67 ⁽⁵⁾		0,11	Imbituba
2002-2012 ^(***)	4,16		-2,5		1,6 ⁽⁶⁾		0,06	Imbituba
2008-2015 ^(**)	4,67		-2,56		2,15 ⁽⁷⁾		-0,04	Imbituba
1993-2015 ^(***)	6,90		-3,02		2,94 ⁽⁸⁾		0,94	Imbituba
2007-2016 ^(**)	5,26		-3,02		2,23 ⁽⁹⁾		0,01	Imbituba

⁽¹⁾ Missão ERS-1

⁽²⁾ Missão T/P

⁽³⁾ Missão ERS-2

⁽⁴⁾ Missão GFO

⁽⁵⁾ Missão JASON-1

⁽⁶⁾ Missão ENVISAT-1

⁽⁷⁾ JASON-2

⁽⁸⁾ JASON-1 e JASON-2

^(*) Observações da UHSLC

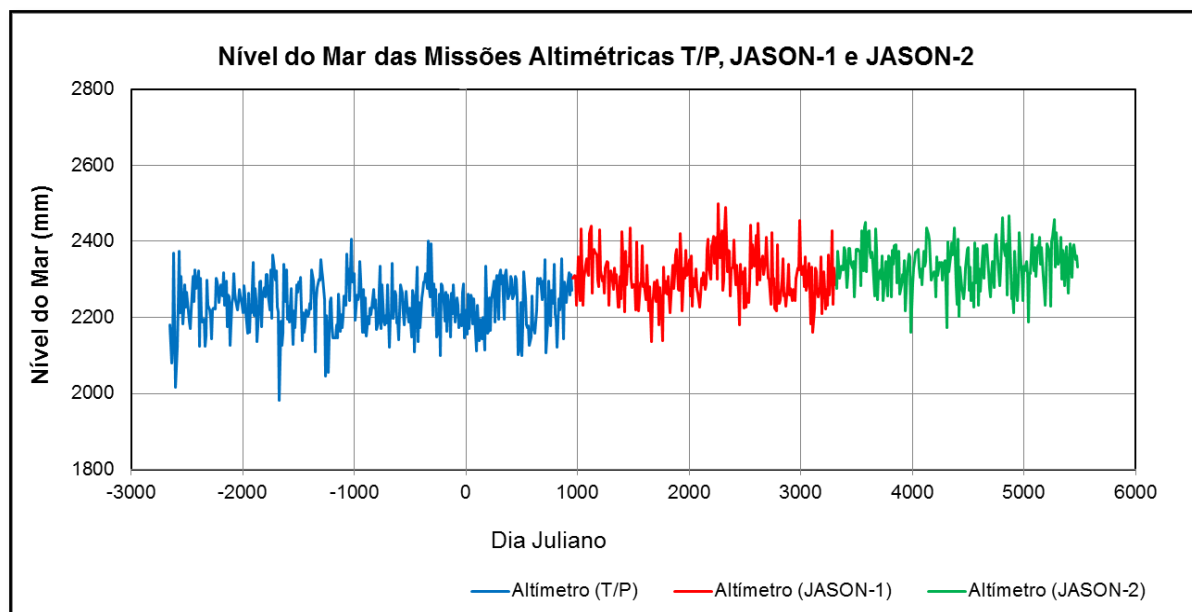
^(**) Observações da RMPG

^(***) Observações da UHSLC e da RMPG

Observa-se na Tabela 44 que as estimativas da taxa de variação dependem do período trabalhado. O período considerado, destacado na primeira coluna da tabela, refere-se ao período das missões altimétricas e de qual base de dados maregráfica foi trabalhada. Como não havia dados maregráficos e nem observações GNSS no período de 1993-1996, não foi possível estimar se houve tendência ou descensão em Imbituba neste período. Evidencia-se na Tabela 44 que com as correções maregráficas, o marégrafo de Imbituba apresenta uma tendência de 2,24 mm/ano do período de 2007 a 2016. Vale destacar que se considerou esse período, pois há dados da estação GNSS contínuo. A Figura 108 apresenta a integração das

missões altimétricas, a qual foi utilizada para determinação da tendência das missões altimétricas do período de 1993 a 2015 (T/P, JASON-1, JASON-2), assim como para análise do período de 2007 a 2016 (JASON-1, JASON-2).

FIGURA 108 - TREND DAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS DO PERÍODO DE 1992 A 2015



Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

Ao analisar a Figura 108, observa-se que são necessários mais estudos para averiguar o referencial dos altímetros T/P e JASON-1, pois nota-se na Figura que ainda há uma diferença no referencial, destes altímetros.

6.7 INTEGRAÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL DOS DADOS MAREGRÁFICOS SEM EFEITO DA CROSTA COM OS DADOS DE ALTIMETRIA POR SATÉLITES

Para este trabalho foram realizados os procedimentos de interpolação cúbica e extrapolação dos dados de altimetria para as séries temporais do marégrafo de Imbituba. Estes procedimentos foram desenvolvidos por Dalazoana et al. (2004b) e Dalazoana (2006) para os marégrafos de Ilha Fiscal e Cananéia e testes iniciais para o marégrafo de Imbituba.

Utilizou-se um conjunto de distintos BD na busca para estimar a tendência da variação temporal do NMM do marégrafo de Imbituba. Os dados provenientes da altimetria por satélite e do marégrafo foram utilizados para analisar o NM.

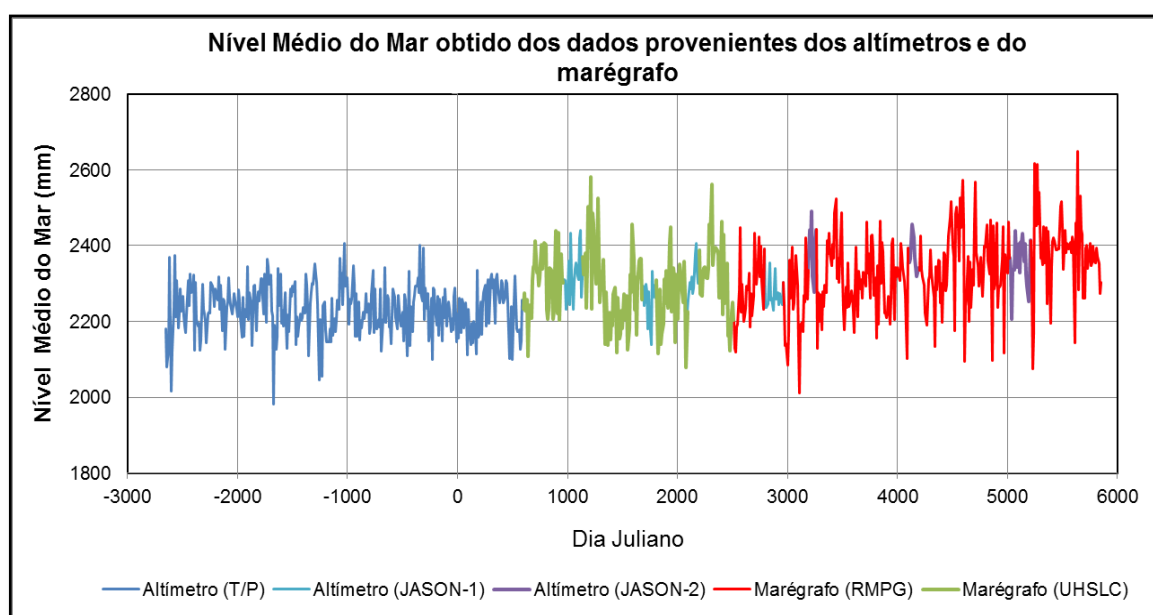
Considerando o processamento GNSS para detectar possíveis movimentos da crosta, o resultado foi utilizado para retirar das observações maregráficas esses movimentos e assim realizar a comparação absoluta dos dados maregráficos com os dados altimétricos.

Destaca-se que os dados e os métodos empregados possibilitaram distinguir o movimento da crosta da variação do NMM relativo, assim como estimar a elevação do NMM absoluto. Estes foram utilizados para a modelagem da evolução temporal do DVB-I. Buscou-se integrar as séries temporais oriundas de distintos métodos considerando a visão da IAG em relação à integração ao IHRs.

Os resultados mostrados ao longo desse capítulo 6 juntamente com os resultados mostrados na Figura 53 (série maregráfica), na Figura 91 (variação da componente altimétrica) e na Figura 108 (Tendência das missões altimétricas) foram essenciais para a distinção do movimento da crosta e de variações relativas do NMM junto ao DVB-I, possibilitando a integração da série maregráfica com a série proveniente dos dados da altimetria por satélite.

A Figura 109 apresenta a integração das séries temporais maregráficas do NMM em Imbituba obtidas a partir da amostragem de dados oriundos da UHSLC e RMPG os quais foram interpoladas e reamostrados para os mesmos instantes de tempo das observações dos satélites altímetros, utilizando interpolação cúbica.

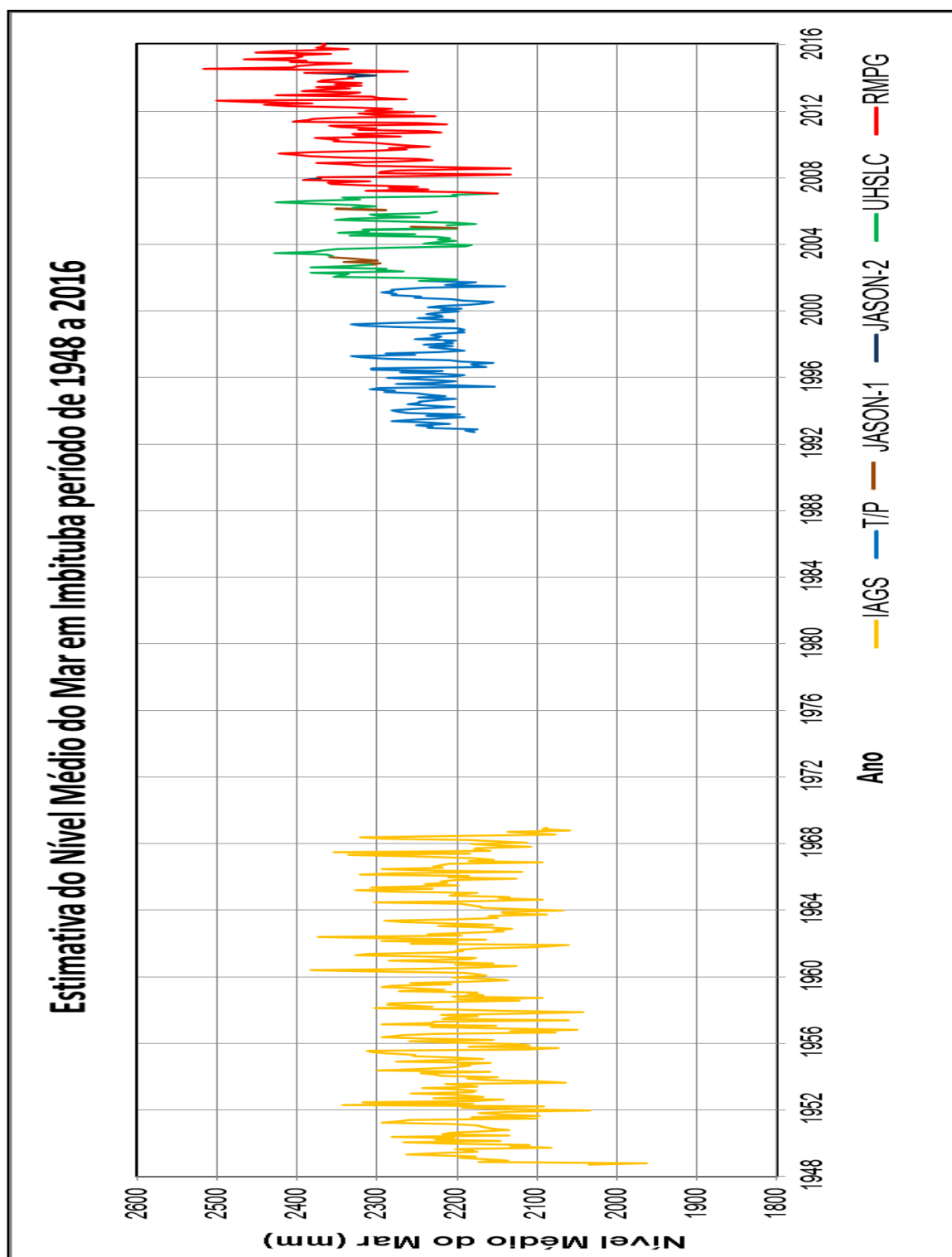
FIGURA 109 - SÉRIE TEMPORAL DAS OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICA E DOS DADOS PROVENIENTES DA ALTIMETRIA POR SATÉLITE NO MESMO INSTANTE



Nota: Dia Juliano 0 corresponde às 12 horas TU de 01/01/2000

A Figura 110 apresenta a integração das séries das observações maregráficas com os dados das missões altimétricas. Para isto, foi desenvolvido um *script* em *Python* para que se pudesse concatenar as médias que estavam em dias julianos para médias mensais.

FIGURA 110 - SÉRIE TEMPORAL DO NMM NO DVB-I



A série temporal do NMM apresentada na Figura 109, já foi realizada a correção dos movimentos da crosta, assim como se realizou uma filtragem nas observações maregráficas, as médias consideradas como *outliers* foram eliminadas e substituídas por dados altimétricos.

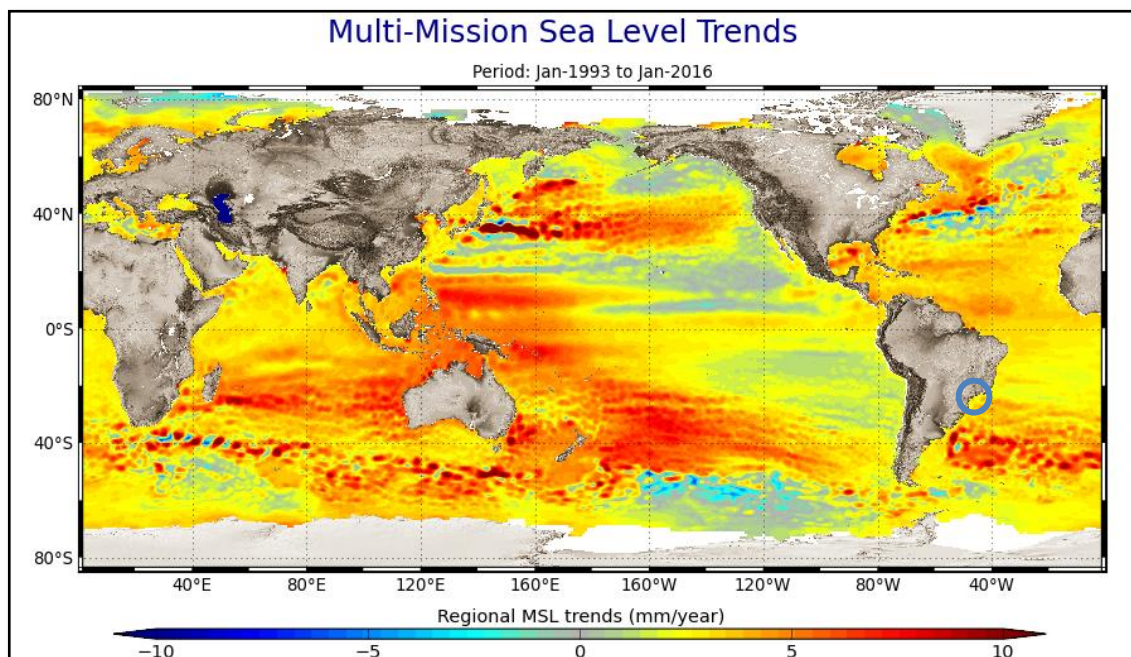
Analisando a Figura 110, observa-se que existe ainda um período de dados indisponível, mesmo com a utilização das missões altimétricas. Vale ressaltar que foi trabalhado com um período de aproximadamente 25 anos de dados altimétricos. Deste período, 9 anos de dados altimétricos foram utilizados para preencher a inexistência de dados na série temporal das observações maregráficas. E 8 anos foram utilizados para substituir as médias das observações maregráficas consideradas como *outliers*. Destaca-se que foram utilizados 17 anos de missões altimétricas para preencher as lacunas existentes entre os dados maregráficos e as observações maregráficas detectadas como *outliers*, disponibilizados pela UHSLC e pela RMPG, devido às intempéries existentes ao longo do tempo.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 44 e da Figura 110, evidenciou-se que existe uma evolução do NMM na região do DVB-I pela determinação da variação temporal resultante de aproximadamente $+ 2,23 \pm 0,4$ mm/ano. Também se evidenciou concordância com estudos baseados em dados maregráficos e de altimetria por satélite, dentre eles destacam-se trabalhos desenvolvidos, no âmbito do LARAS, por Dalazoana et al. (2004a), Dalazoana (2006), Da Silva e De Freitas (2015), Da Silva et al. (2016). Assim como está em concordância com as medições realizadas pelo NOAA (2016) no período de 09/1992 a 03/2016, mostrado na Figura 25, no subitem 3.4, onde na região do DVB-I apresenta uma tendência variando em torno de 3 mm/ano a 4 mm/ano. Em relação às medições globais utilizando as missões TOPEX, JASON-1 e JASON-2, o NOAA (2016) obteve uma variação de aproximadamente $2,9 \text{ mm/ano} \pm 0,4 \text{ mm/ano}$, no período de 09/1992 a 03/2016 e o AVISO (2016) obteve uma variação global de aproximadamente $3,36 \text{ mm/ano} \pm 0,1 \text{ mm/ano}$, no período de 1993,01 a 2015,97.

Analisando a Figura 111 (AVISO, 2017), do período de Janeiro 1993 a janeiro 2016, pode-se observar que a tendência em Imbituba é de aproximadamente 3 mm/ano. A partir dos resultados analisados na Tabela 44, obteve-se no período de 1993 a 2015, uma variação de $2,94 \text{ mm/ano}$. Mas devido o período de dados da estação IMBT GNSS (contínua) iniciar em 2007, considerou-se para análises finais o

período de 2007 a 2016. A partir destas informações considera-se que na região do DVB-I existe elevação no NMM.

FIGURA 111 - ESTIMATIVA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR DE IMBITUBA A PARTIR DE INFORMAÇÕES DA AVISO



FONTE: AVISO (2017)

Na Figura 111 destacou-se com um círculo azul a localização aproximada do DVB-I, ratificando que a variação temporal na região apresenta uma tendência de aproximadamente 3 mm/ano. A partir desta análise e das outras análises referidas em parágrafos anteriores, verificou-se que a região do DVB-I apresenta elevação no NMM.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas ao longo deste trabalho visaram propiciar condições para atender os temas 1 e 3 do *Global Geodetic Observing System* (GGOS), os quais consolidam o *International Height Reference System*: Elevação do Nível Médio do Mar, Variabilidade e Previsão. A partir destes temas a pesquisa foi desenvolvida para analisar a evolução temporal do *Datum* Vertical Brasileiro de Imbituba a partir dos possíveis movimentos da crosta e a análise da evolução do Nível Médio do Mar local. A análise foi realizada de forma conjunta com dados provenientes de distintos bancos de dados, estes são: observações maregráficas, componente altimétrica obtida do processamento GNSS e os dados provenientes das missões dos satélites altímetros.

7.1 CONCLUSÃO

Os estudos da análise da evolução temporal do Datum Vertical Brasileiro de Imbituba se deram com a utilização de dados provenientes de séries temporais do posicionamento GNSS, de observações maregráficas e de dados provenientes da altimetria por satélites, tendo como objetivo proposto analisar a evolução temporal do DVB-I, para detectar possíveis movimentos da crosta e a evolução do nível médio do mar local.

O processamento de séries temporais de observações GNSS possibilitou gerar modelo próprio de velocidade assim como comparar com os modelos propostos pelo SIRGAS e modelo de velocidade geofísico e geológico. A partir dessas séries também se analisou a importância das correções meteorológicas, fazendo uma comparação com as séries temporais, utilizando parâmetros de troposfera estimados e dados meteorológicos locais. No processamento utilizando *software* científico, no caso desta pesquisa o Bernese 5.2, podem-se utilizar os parâmetros de troposfera estimados ou os dados de meteorologia local. Estes dados não apresentam prejuízos na análise das séries temporais quando comparado aos parâmetros de troposfera estimados no processamento.

A partir das séries temporais de observações GNSS também foi realizada a comparação do modelo de carga oceânica e atmosférica global com o modelo de carga oceânica e atmosférica local, mostrando que quando se utiliza as correções

de carga oceânica e carga atmosférica, os dados são menos dispersos e apresentam RMS um pouco menores, dentro do período analisado. No entanto, com as correções destes efeitos certamente previne-se de eventuais perturbações devido a anomalias não modeladas.

As observações GNSS também foram utilizadas para o controle da posição geocêntrica do marégrafo, destaca-se que o período utilizado foi de 2007 a 2016. Os dados foram processados com o software Bernese 5.2 e considerou-se duas estações IGb08 como fiduciais pertencentes à RBMC e a Rede SIRGAS-CON. Junto à estação IMBT foram processadas mais 34 estações, todas de monitoramento contínuo, com o objetivo de aumentar a estabilidade da solução semanal. A componente altimétrica foi estimada diariamente, mas realizou-se o processamento semanal onde se considera o dia médio da semana. Cada semana apresentou um valor diferente, no final do processamento estimou-se o coeficiente semanal que foi de - 0,0633 mm/semana. E a taxa de subsidência de - 3,02 mm/ano, período de setembro de 2007 a janeiro de 2016, destaca-se que este valor é próximo ao de - 3,8 mm/ano calculado utilizando o modelo VEMOS2015.

As observações provenientes do marégrafo de Imbituba (RMPG) foram filtradas visando sua integração com os dados armazenados no banco de dados do PSMSL e do UHSCL. A integração destas séries indicou uma tendência de elevação do nível do mar em uma taxa de 3,10 mm/ano, sem considerar possíveis movimentos da crosta, período de setembro de 1948 a dezembro de 1968 e de agosto de 2001 a janeiro de 2016. O resgate das informações do nível do mar provenientes dos dados registrados no marégrafo no DVB-I possibilitou uma melhor análise por estar se trabalhando com uma série temporal longa. Analisando as observações maregráficas da RMPG, mesmo período da análise das observações da RBMC, obteve-se uma variação temporal de 5,26 mm/ano. Sendo assim, a partir das análises da tendência temporal do NMM no DVB-I discriminando movimentos do NMM e da crosta por intermédio dos dados maregráficos integrados com séries temporais do posicionamento GNSS, obteve-se uma elevação de 2,24 mm/ano, para o período de 2007 a 2016.

Para melhor análise do nível médio do mar, analisaram-se dados oriundos de distintas missões de altimetria por satélite com dados provenientes do marégrafo. Estes permitiram uma melhor análise da evolução do DVB-I a partir da comparação das séries temporais dos valores de *SSH* relacionados às células localizadas ao

longo da trilha do satélite e das observações do nível do mar do marégrafo integradas com séries temporais do posicionamento GNSS. Vale destacar que a integração de distintas missões de satélite altímetro trouxeram muitas vantagens, principalmente em relação à questão de recuperação de informações sobre as variações do nível do mar no marégrafo de Imbituba com dados descontínuos.

A comparação das séries temporais maregráficas e dos satélites altímetros apresentou distintos resultados referentes às células ao longo da trilha do satélite. Considerando a missão JASON-2, evidenciou-se que a célula mais próxima do marégrafo é a 475, situada a 56 km da costa, mas a célula que apresentou os melhores resultados é a 478, situada a 77 km da costa. Antes das correções diferenciais de maré a célula 478 apresenta um coeficiente de correlação de 0,93 e desvio padrão de 69 mm. Após a correção, apresentou o coeficiente de correlação de 0,98 e o desvio padrão de 50 mm.

Os satélites altímetros perdem a resolução ao se aproximar da costa, a partir do coeficiente de correlação evidenciou-se que os dados da célula 478 a 77 km da costa tem uma alta correlação comparada aos dados maregráficos, sendo possível, portanto utilizar as variações relativas para complementar as informações de marégrafos que possuem ausência de dados e séries descontínuas, como é o caso de Imbituba. Embora os bancos de dados maregráficos trabalhados possuam uma série temporal longa, estes apresentaram faltas de dados ao longo do tempo, ratificando a importância da utilização de dados provenientes de distintas missões altimétricas.

Com a utilização de distintas missões altimétricas confirmou-se os problemas referentes à perda de resolução dos altímetros nas proximidades da costa. Para todas as missões analisadas evidenciou-se que as células que estavam mais próximas da costa possuíam coeficientes de correlação mais baixos e desvios padrão maiores do que algumas células mais distantes da costa. Com a análise da tendência da série dos altímetros obteve-se uma elevação de 2,23 mm/ano para o período de 2007 a 2016.

A evolução temporal do DVB-I pode ser modelada a partir de longas séries temporais (mais de 5 anos) de dados da altimetria por satélite, observações GNSS e observações maregráficas. Estas informações estão em consonância com a visão para integração com o IHRs. Sendo assim, os resultados baseados na análise da posição geocêntrica do DVB-I com base em séries temporais GNSS, maregráficas e

altimétricas da região do *Datum* Vertical Brasileiro de Imbituba evidenciaram uma taxa de elevação de $+ 2,24 \text{ mm/ano} \pm 0,4 \text{ mm/ano}$ na região do *Datum*. Este valor está em concordância com informações globais de elevação do nível médio do mar, como mostrado nos subitens 3.4 e 6.7. Ficou evidenciada a evolução do NMM na região do DVB-I pela determinação da variação temporal da posição geocêntrica do marégrafo associada com a análise dos dados maregráficos e altimétricos.

Vale destacar que o posicionamento geocêntrico do marégrafo possibilita a comparação entre as séries das informações do nível do mar provenientes dos dados registrados nos marégrafo e derivados de missões altimétricas por satélites. Sendo importante fazer ressalvas que o monitoramento periódico da posição geocêntrica do marégrafo torna possível separar variações crustais das variações do nível do mar aparentes e efetivas.

7.2 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

O tema enquadra-se dentro dos estudos que vêm sendo desenvolvidos pelo GGOS. Sabe-se que é necessário intensificar os estudos no entorno do DVB-I no intuito da integração com o *Datum* Vertical Brasileiro de Santana, pois o Brasil conta com mais de um *Datum*. Com base nas análises recomenda-se:

- Resgatar séries temporais de observação maregráfica do período de 1969 a 1991 e seguir a análise dos dados já existentes;
- Utilizar as estações GNSS de monitoramento contínuo, para estudos, nas proximidades dos outros marégrafos que fazem parte da RMPG para uma melhor análise da evolução temporal do NMM ao longo da costa brasileira;
- Integrar as informações obtidas dos outros marégrafos que fazem parte da RMPG com as informações do marégrafo de Imbituba;
- Levar em conta as soluções do PVCG realizadas no DVB-I pelo LARAS em associação com as tendências evidenciadas neste trabalho para sua efetiva integração ao IHRS.

REFERÊNCIAS

ABART, C. Assessment of solution strategies for GRACE gravity field processing. Thesis. Institute of Navigation and Satellite Geodesy Graz University of Technology – TEG, 2005, 80p.

ACUÑA, G.; BOSCH, W.; MEISEL, B. Correlation Between Multi-Mission Altimeter Time Series and Tide Gauge Registrations in the Caribbean Sea. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). Vertical Reference Systems. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag. P. 231-237, 2002.

ALENCAR, J. C. M. Sistema Nacional de Nivelamento de 1ª Ordem. Conferência Nacional de Geociências, IBGE, Rio de Janeiro, 1968, 22 p.

ALENCAR, J. C. M. Datum Altimétrico Brasileiro. Caderno de Geociências. Rio de Janeiro, Brasil. Nº 5, P. 69-73, 1990.

ALTAMINI, Z.; ANGERMANN, D.; ARGUS, D.; BLEWITT, G.; BOUCHER, C.; CHAO, B.; DREWES, H.; EANES, R.; FEISSEL, M.; FERLAND, R.; HERRING, T.; HOLT, B.; JOHANNSON, J.; LARSON, K.; MA, C.; MANNING, J.; MEERTENS, C.; NOTHNAGEL, A.; PAVLIS, E.; PETIT, G.; RAY, J.; RIES, J.; SCHERNECK, H.; SILLARD, P.; WATKINS, M. The Terrestrial Reference Frame and the Dynamic Earth. EOS. V. 82, Nº 25, 2001.

ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift. V. 22, Nº 6, P. 711-728, 2013.

ALVES, D. B. M.; MENEGUETTE Jr, M.; MONICO, J. F. G. Utilizando spline cúbicas naturais para atenuação de erros no posicionamento GPS. Tend. Matemática Aplicada e Computacional. V. 6, Nº 2, P. 197-205, 2005.

AVISO. Data: Products – Sea surface height products: Available global products. Ocean indicators products: Mean Sea Level. Disponível em: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/actualitesindicateurs-des-oceansniveau-moyen-des-mersindexhtml.html>. Acessado em 11/03/2016.

AVISO. Data: Mean Sea Level. Disponível em: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level.html>. Acessado em 10/03/2017.

BÁEZ SOTO, J. C.; DREWES, H.; DE FREITAS, S. R. C. Introducción de los Sistemas Geodésicos Cinemáticos Modernos Aplicación y Consistencia, Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra - Santiago, Chile, 2004.

BÁEZ SOTO, J. C. Monitoramento das Deformações da Rede de Referência do SIRGAS em área com Atividade Tectônica. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2006.124 p.

BÂKI IZ, H.; DING, X. L.; SHUM, C. K. Global sea level trends in the presence of variable sea level velocities, and variable accelerations. *Journal of Geodetic Science*. V. 3, Nº 2, P. 127-135, 2013. doi: 10.2478/jogs-2013-0020.

BECKLEY, B. D.; LEMOINE, F.G.; LUTHCKE, S. B.; RAY, R. D.; ZELENSKY, N. P. A reassessment of global and regional mean sea level trends from TOPEX and Jason-1 altimetry based on revised reference frame and orbits. *Geophysical Research Letters*. V. 34. L14608. P. 1-5, 2007. doi: 10.1029/2007GL030002.

BENAVENT MERCHÁN, M. T. Estudio Metodológico del Efecto Oceánico Indirecto y Desarrollo de Modelos de Carga Oceánica: Aplicaciones Geodésicas para la Península Ibérica y Canarias. Tese de Doutorado, Sección Departamental de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica (Geofísica y Meteorología). Universidad Complutense de Madrid, 2011.433 p.

BEUTLER, G. The impact of International GPS Geodynamics Service – IGS, in the surveying and map community. In: XVII Congress ISPRS: Session IU-GP, Proceedings, Washington DC, 1992.

BLITZKOW, D. MATOS, A. C. C. A evolução dos referenciais usados em Geodésia: A era moderna. *Boletim de Ciências Geodésicas*: ISSN 1982-2170. V. 8, Nº1, P. 3-16, 2002.

BOEHM, J.; SCHUH, H. Vienna mapping functions in VLBI analyses. *Journal Geophysical Research*. V, 31, L01603, P. 277-281, 2004, doi:10.1029/2003GL018984.

BOEHM, J.; NIELL, A.; TREGONING, P.; SCHUH, H. Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data, *Geophysical Research Letters*. V. 33, P.1-4, L07304, 2006a, doi: 10.1029/2005GL025546.

BOEHM, J.; WERL, B.; SCHUH, H. Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data, *Journal Geophysical Research*. V. 111, P. 1-9, B02406, 2006b, doi: 10.1029/2005JB003629.

BOSCH, W. The Sea Surface Topography and its Impact to Global Height System Definition. In: DREWES, H. et al. (Ed.). IAG Symposia 124, Vertical Reference Systems. Springer: Berlin. P. 225-230, 2002.

BOSCH, W.; DREWES, H.; HÄFELE, P.; KANIUTH, K.; KANIUTH, R.; KUHN, M.; STUBER, K.; TREMEL, H. The EVAMARIA Project: Identification and Verification of Sea Level Anomalies in the North America. In International Association of Geodesy Symposia: Vertical Reference System, Springer. V. 124, P. 238-243, 2002.

BOSCH, W. Geodetic Application of Satellite Altimetry. In: HWANG, C.; SHUM, C. K.; LI, J. C. (Ed.). International Workshop on Satellite Altimetry. IAG Symposium 126, Wuhan, China. Berlin: Springer-Verlag. P. 3-21, 2003.

BOSCH, W. Inter-Commission Project 1.1 – Satellite Altimetry – Mid-Term Report 2005. In: DREWES, H.; HORNIK, H. (Ed.). IAG Commission 1 – Reference Frames - Bulletin Nº 19 – Mid-Term Report 2005, Munich. P. 31-34, 2005.

BOSCH, W.; FENOGLIO-MARC, L.; WÖPPELMAN, G.; MARCOS, M.; NOVOTNY, K.; SAVCENKO, R.; KARPYTCHEV, M.; NICOLLE, A.; BECKER, M.; LIEBSCH, G. Coastal Sea Surface Topography - a Synthesis of Altimetry, Gravity, and Tide Gauges. In: AVISO Newsletter Nº 11, CNES, 2006.

BOSCH, W.; FENOGLIO-MARC, L.; WÖPPELMANN, G.; MARCOS, M.; NOVOTNY, K.; SAVCENKO, R.; KARPYTCHEV M.; NICOLLE, A.; BECKER, M.; LIEBSCH, G. Coastal Sea Surface Topography – a Synthesis of Altimetry, Gravity, and Tide Gauges, 2008. Disponível em: <http://www.dgfi.badw.de/dgfi/DOC/2006/OST-SciencePlan-bosch2.pdf>. Acessado em 14/09/2014.

BOUCHER, C.; ALTAMINI, Z. International Terrestrial Reference Frame. GPS WORLD, setembro, 1996.

BOUMAN, J.; BOSCH, W. GOEBEL, G.; MÜLLER, H.; SÁNCHEZ, L.; SCHMIDT, M.; SEBERA, J. Das Schwerefeld der Erde - Messen, Darstellen und Auswerten. Fachbeitrag. Zeitschrift für Vermessungswesen. V. 135, P. 87-92, 2010.

BRASIL. Lei de Nº 8029/1990. Artigo 4º e Inciso I, 1990. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8029compilada.htm. Acessado em: 19/10/2016.

BURSĂ, M.; KENYON, S.; KOUBA, J.; RADEJ, K.; VATRT, V.; VOJTISKOVA, M; SIMEK, J. World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Stations. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). Vertical Reference Systems. IAG Symposia 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer, Berlin. P. 291-296, 2002.

BURSÁ, M.; KENYON, S.; KOUBA, J.; ŠÍMA, Z.; VATRT, V.; VÍTEK, V.; VOJTÍŠKOVÁ, M. The geopotential value W_0 for specifying the relativistic atomic time scale and a global vertical reference system. *Journal of Geodesy*. V. 81, P. 103-110, 2007.

CALDWELL, P. Sea Level Data Processing on IBM-PC Compatible Computers Version 3.0 (Year 2000 Compliant). Jimar Contribution Nº 98-319. Joint Archive for Sea Level of the National Oceanographic Data Center and University of Hawaii Sea Level Center. 40p. Disponível em: <http://uhslc.soest.hawaii.edu/uhscl/jaslpr2/slman2.html>. Acessado em 20/08/2014.

CAMARGO, P. O. Modelo Regional da Ionosfera para Uso em Posicionamento com Receptores GPS de uma Frequência. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 1999, 191 p.

CAPORALI, A.; MARTIN, S.; MASSIRONI, M.; Constraining the contemporary crustal deformation in Italy with geodetic data. *Reports on Geodesy*. Warsaw Institute of Technology, Poland. V. 54, Nº 8, P. 179-193, 2000.

CAZENAVE, A. Les Variations Actuelles du Niveau Moyen de la Mer. *Earth & Planetary Sciences*. Nº 329, P. 457-469, 1999.

CAZENAVE, A.; DO MINH, K.; GENNERO, M.C. Present-day Sea Level Rise: From Satellite and in situ Observations to Physical Causes. In: *IAG Symposia 126: Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography*. Hwang, C., Shum, C.K., Li, J. (eds), V. 126, Springer, Berlin. P. 23-31, 2003.

CHELTON, D. B.; RIES, J. C.; HAINES, B. J.; FU, L. L.; CALLAHAN, P. S. Satellite Altimetry. In: FU, L. L.; CAZENAVE, A. (Ed.). *Satellite Altimetry and Earth Sciences: a Handbook of Techniques and Applications*. Academic Press. P. 1-131, 2001.

CIRAM. Pesquisadores da EPAGRI/CIRAM instalam marégrafo no Porto de Imbituba. Disponível em: http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2463:pesquisadores-da-epagri-ciram-instalam-maregrafo-no-porto-de-imbituba&catid=30:noticiasdociram&Itemid=10199999. Acessado em 17/05/2016.

COASTALT. The COASTALT Project. Disponível em: <http://coastalt.eu/>. Acessado em 14/03/2016.

CORDINI, J. Aspectos Geodinâmicos no Datum da Rede Altimétrica do SGB. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 1998.183 p.

COSTA, S. M. A. Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres. Curitiba. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 1999, 154 p.

COSTA, S. M.; SANTOS, M.; GEMAEL, C. A velocity field estimation of the Brazilian portion of the SOAM plate. GPS Solution. N° 7, P. 186-193, 2003.

COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; MOURA Jr, N. J.; ABREU, M. A.; DA SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. P. 1-8, 2008.

COSTA, S. M. A.; DA SILVA, A. L.; LIMA, M. A. A.; DE MOURA JÚNIOR, N. J. Centro de Análise Sirgas – IBGE: Novas Estratégias de Processamento e Combinação, e a Influência da Mudança do Referencial Global nos Resultados Sirgas. Boletim de Ciências Geodésicas. V. 18, N° 1, P. 63-85, 2012.

CSIRO Marine and Atmospheric Research. Sea Level Rise. Disponível em: <http://www.cmar.csiro.au/sealevel/>. Acessado em 02/02/2016.

DACH, R. Script RNX2SNX: RINEX TO SINEX. Bernese 5.2, 2011.

DACH, R.; LUTZ, S.; WALSER, P.; FRIDEZ, P. Bernese GNSS Software version 5.2. Astronomical Institute, University of Bern, 2015.

DACH, R.; WALSER, P. Bernese GNSS Software Version 5.2: Tutorial – Processing Example, Introductory Course and Terminal Session. Astronomical Institute, University of Bern, 2015.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C. Importância do Resgate e Análise da Série Temporal de Observações Maregráficas no Porto de Imbituba – Uma Abordagem Teórica. In: Série em Ciências Geodésicas – Novos Desenvolvimentos em Ciências Geodésicas. V. 3, P. 195-208, 2003.

DALAZOANA, R.; LUZ, R.T.; DE FREITAS, S.R.C.; BÁEZ SOTO, J. C. First Studies to Estimate Temporal Variations of the Sea Level at the Brazilian Vertical Datum. GGSM 2004 – Gravity, Geoid and Space Missions, Porto, Portugal, August 30th– September 3rd, 2004a.

DALAZOANA, R.; BOSCH, W.; SAVCENKO, R. Comparing Sea Level Time Series from Altimetry and Brazilian Tide Gauges. In: WORKSHOP 2004 DER FORSCHUNGSGRUPPE SATELLITENGEODÄSIE – FGS2004, 27 a 29 de outubro de 2004. Höllenstein, Wetzell, Alemanha,

2004b. Disponível em: www.wettzell.ifag.de/veranstaltungen/fgs/workshop2004/presentationen.html.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; LIMA, S. R. S.; MIRANDA, FR. A.; PALMEIRO, A. S.; MIRANDA, FA. A.; FREITAS, S. R. C. Controle Vertical das RRNN e da Posição Geocêntrica do Marégrafo no Porto de Imbituba. In: IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, Brasil. Anais 18 a 20 de maio de 2005a.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; DE FREITAS, S. R. C. Estudos do NMM a partir de Séries Temporais Maregráficas e de Altimetria por Satélites visando a Integração da Rede Vertical Brasileira ao SIRGAS. Revista Brasileira de Cartografia. Nº 57/02, P. 140-153, 2005b.

DALAZOANA, R. Estudos dirigidos à análise temporal do Datum Vertical Brasileiro. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2006. 188 p.

DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C. Estudos Dirigidos à Análise Temporal do Datum Vertical Brasileiro. Boletim de Ciências Geodésicas: Resumos. V. 12, Nº 1, P. 173-174, 2006.

DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C. Altimetria Satelital: Fundamentos Básicos e Aplicações. Universidade Nacional de La Plata. Novembro: 2009. Disponível em: <http://catedras.fcaglp.unlp.edu.ar/geofisica/geodesia/curso-de-altimetria-satelital/presentacion>.

DA SILVA, L. M.; DE FREITAS, S. R. C. Os Efeitos Dinâmicos e a Evolução Temporal do Datum Vertical Brasileiro de Imbituba. In: Reunion Sirgas 2013, Cidade de Panamá, Panamá, Outubro 24-26, 2013. Disponível em: http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol18/22j_da_Silva_de_Freitas_2013_Efectos_dinamicos_Imbituba.pdf.

DA SILVA, L. M.; DE FREITAS, S. R. C. Análise da Variação Temporal do Nível Médio do Mar nas Estações da RMPG. Simpósio Sirgas 2014, La Paz, Bolívia, Noviembre 24-26, 2014. Disponível em: http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol19/21_da_Silva_et_al_2014_Variaciones_mar_RMPG.pdf.

DA SILVA, L. M.; DE FREITAS, S. R. C. Estimativa da posição atual do Datum Vertical Brasileiro de Imbituba a partir de dados maregráficos, observações GNSS e Altimetria por Satélites. In: Simpósio Sirgas 2015, Santo Domingo, República Dominicana, Noviembre 16-20, 2015. Disponível em: http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol20/30_DaSilva_et_al_2015_Datum_vertical_brasileiro.pdf.

DA SILVA, L. M.; DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R. Análise de Séries Temporais Maregráficas correlacionadas com observações GNSS do Datum Vertical Brasileiro de Imbituba-SC. *Revista Brasileira de Cartografia*. V. 68, P. 73-90, 2016.

DE FREITAS, S. R. C. Marés gravimétricas: Implicações para a placa Sul-Americana. PhD. Thesis, IAG/University of São Paulo, 1993, 264 p.

DE FREITAS, S. R. C.; LUZ, R. T. Altimetria de Precisão com GPS baseada no SGB: Possibilidades Físicas e Limitações. Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. Rio de Janeiro. Resumos Expandidos, Rio de Janeiro: SBGF. V. 1, Nº4, P. 135-138, 1995.

DE FREITAS, S. R. C.; MANTOVANI, M. S. M.; MELCHIOR, P.; SHUKOWSKY, W. Some implications of the gravity tides in the South American plate. In: *Earth Tides*, ed. H. Hsu, Science Press, New York, P. 387-393, 1995.

DE FREITAS, S. R. C.; CORDINI, J. Implicações Geodinâmicas no Posicionamento Geodésico. *Boletim de Ciências Geodésicas: Comunicação*, Curitiba. ISSN 1413-4853. V. 3, P. 73-75, 1998.

DE FREITAS, S. R. C.; CORDINI, J.; KRUEGER, C. P.; SANTOS, M. C. The Geocentric position of the Brazilian Vertical Datum. In *International Symposium on Marine Positioning: "United Nations Year of the Oceans"*. Florida Institute of Technology Melbourne, FL, USA. *Proceedings of INSMAP98*. P. 230-240, 1998.

DE FREITAS, S. R. C.; CORDINI, J.; KRUEGER, C. P.; SANTOS, M. C. The geocentric position of the Brazilian vertical Datum. In: Sanso, F.. (Org.). *IAG (International Association of Geodesy) Series - The Geodesy in South America - Coletânea de Artigos*. Berlin, Alemanha: SPINGER-VERLAG - In printing. V. 120, 1999.

DE FREITAS, S. R. C.; MEDINA, A. S.; LIMA, S. R. S. Associated Problems to link South American Vertical Networks and possible approaches to face them. In: *IAG Symposia*, Vol. 124: Vertical Reference Systems; In: Drewes, H.; Dodson, A. H.; Fortes, L. P. S.; Sánchez, L.; Sandoval, P. (Ed.). Springer, Berlin. P. 318-323, 2002a.

DE FREITAS, S. R. C.; SANTOS Jr, G.; FAGGION, P. L.; GEMAEL, C.; SILVA JÚNIOR, J. S.; SIMÕES, K. Conceção dos levantamentos gravimétricos para o estabelecimento de rede gravimétrica de alta precisão no estado do Paraná. In: MITISHITA, E. A. et al. (Ed.). *Pesquisas em Ciências Geodésicas*. Curitiba: UFPR. V. 2, P. 41-56, 2002b.

DE FREITAS, S. R. C. Estratégias para uma nova definição do Datum Vertical Brasileiro e realização da Rede Vertical Brasileira visando suas integrações com o SIRGAS. In anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática Presidente Prudente - SP. P. 440-446, 2007.

DE FREITAS, S. R. C., FERREIRA, V. G., PALMEIRO, A. S., DALAZOANA, R., LUZ, R. T., FAGGION, P. L. Modelagem do potencial anômalo no Datum Vertical Brasileiro visando sua nova definição. Boletim de Ciências Geodésicas. V. 13, Nº 2, P. 395-419, 2007a.

DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; HECK, R.; FERREIRA, V. G.; PALMEIRO, A. S. Refining Brazilian Vertical Datum by integrating satellite altimeter data and local geopotential anomalous component. In: IUGG/ XXIV, 2007b.

DE FREITAS, S. R. C.; FERREIRA, V. G.; PALMEIRO, A. S.; CARVALHO, J. L. B.; SILVA, L. Analysis of the Geopotential Anomalous Component at Brazilian Vertical Datum Region Based on the Imarui Lagoon System. In: Stelios P. P. Mertikas. (Org.). IAG Series - Gravity, Geoid and Earth Observation. 1ed. Berlin: Springer. V. 135, P. 321-327, 2010.

DE FREITAS, S. R. C. SIRGAS-WGIII activities for unifying height systems in Latin America. Revista Cartográfica 91. P. 75-91, 2015.

DE METS, C.; GORDON, R.; ARGUS, D. F.; STEIN, S. Current plate motion. Geophysical Journal Int. Nº 101, P. 425-478, 1990.

DE METS, C.; GORDON, R.; ARGUS, D. F.; STEIN, S. Effect of recent revision to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motion. Geophysical Research Letters. V. 21, Nº 20, P. 2191-2194, 1994.

DEFANT, A. Physical oceanography. Oxford, Pergamon Press. V. 2, 1961, 598 p.

DHN. Tábuas de Maré. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/infotmares.html>. Acessado em 21/02/2016.

DIETRICH, G. General Oceanography. Interscience Publishers. New York, 1963.

DIETRICH, R.; DACH, R.; ENGELHARDT, G.; IHDE, J.; KNORTH, W.; KUTTER, H-J.; LINDNER, K.; MAYER, M.; MENGE, F.; MILLER, H.; MÜLLER, C.; NIEMIER, W.; PERLT, J.; POHL, M.; SALBACH, H.; SHENKE, H-J.; SHÖNE, T.; SEEGER, G.; VEIT, A.; VÖLKSEN, C. ITRF coordinates and plate velocities from repeated campaigns in Antarctica - an analysis based on different individual solutions. Journal Geodesy Nº 74, P. 756-766, 2000.

DOS SANTOS PROL, F. Tomografia da Ionosfera a partir do GNSS e Técnicas Algébricas: Estudo de Caso para a Região Brasileira. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista, 2015. 94 p.

DOUGLAS, B.C. Global sea level acceleration. *Journal of Geophysical Research*. V. 97, Nº C8, P. 12699-12706, 1992.

DREWES, H. A Geodetic Approach for the Recovery of Global Kinematic Plate Parameters. *Bulletin Géodésique*. Nº 56, P. 70-79, 1982.

DREWES, H. Global and Regional Deformation Models of the Earth's Surface. *Proceeding of the International Conference on Cartography and Geodesy, Maracaibo (Venezuela), 1992, Instituto de Antronomia y Geodesia, Madrid*. P. 288-298, 1993.

DREWES, H. Combination of VLBI, SLR and GPS determined station velocities for actual plate kinematic and crustal deformation models. M. Feissel (Ed.): *Geodynamics, IAG Symposia*, Springer. V. 119, P.377-382, 1998.

DREWES H.; MEISEL B. An Actual Plate Motion and Deformation Model as a Kinematic Terrestrial Reference System, *Geotecnologien Science Report*, Nº 3, 2003.

DREWES, H. Procesamiento de información GPS com relación a marcos de referencia de épocas diferentes. *SIRGAS Workshop, Aguascalientes, México, 9 e 10 de Dezembro de 2004*.

DREWES, H.; SANCHEZ, L.; Sistemas de Referência Cinemáticos em Geodésia – Definición, Realización y Mantenimiento. *Palestra proferida no Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, Santiago-Chile, Outubro 2004*.

DREWES, H.; HEIDBACH, O.. The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). *IAG Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth"*. Buenos Aires, Argentina. August 31 to September 4, 2009. *IAG Symposia Series*, 2009.

DREWES, H.; HEIDBACH, O. The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. In: S. Kenyon et al. (eds.), *Geodesy for Planet Earth, International Association of Geodesy Symposia 136*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. P. 657-664, 2012, doi: 10.1007/978-3-642-20338-1_81.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L. Modelado de deformaciones sísmicas en el mantenimiento de marcos geodésicos de referencia. In: *Reunión SIRGAS, Ciudad de Panamá, Panamá, 24-26 de octubre de*

2013. Disponível em: http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol18/36_Drewes_Sanchez_2013_Modelado_deformaciones_sismicas.pdf.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L. Geodetic Reference Systems and Frame. In: VII SIRGAS School on Reference Systems. Santo Domingo, Dominican Republic, 16-17 de november 2015. Disponível em: http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol20/36_Drewes_Sanchez_2015_Geodetic_reference_systems.pdf.

EKMAN, M. Impacts of Geodynamic Phenomena on Systems for Height and Gravity. Bulletin Geodesies. Nº 63, P. 281-296, 1989.

EOPORTAL. Missões Altimétricas: SARAL. Disponível em: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/saral>. Acessado em 26/12/2016.

EPAGRI. Porto de Imbituba vai ganhar estação meteorológica. Disponível em: <http://www.epagri.sc.gov.br/?p=13827>. Acessado em 16/05/2016.

FARREL, W. E. Deformation of the Earth by surface loads. In: Reviews of Geophysics and Space Physics, Nº. 10, P. 761-797, 1972.

FEATHERSTONE, W. E. Prospects for the Australian Height Datum and Geoid Model. In: ÁDÁM, J.; SCHWARZ, K.-P. (Ed.). Vistas for Geodesy in the New Millennium. Berlin: Springer, XVII, (IAG Symposia. V. 125, P. 96-101, 2002.

FEMAR – Fundação de Estudos do Mar: Consultas: Publicações On-Line - Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Disponível em: <http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/biblioteca.html>. Acessado em 10/05/2016.

FENOGLIO, L.; BELIKOV, M. Sea Surface Topography in Mediterranean Sea from Altimetry, Tide Gauge and Gravity Data. International Symposium on Marine Positioning, INSMAP94, Hannover, Germany. Proceedings. P. 289-298, 1994.

FERREIRA, V. G. Análise da Componente Anômala do Geopotencial no Datum Vertical Brasileiro com base no sistema lagunar de Imauri, SC. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2008.116 p.

FERREIRA, V. G. Solução do tipo Brovar para o segundo Problema de Valor de Contorno da Geodésia com vistas à modernização de Sistemas de Altitudes. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2011.173 p.

FERREIRA, V.G., ZHANG, Y., DE FREITAS, S.R.C. Validation of GOCE gravity field models using GPS-leveling data and EGM08: a case study in Brazil. *Journal of Geodetic Science*. P. 1-10, 2013. DOI 10.2478/jogs-2013-0027.

FERREIRA, V. G.; DE FREITAS, S.R.C., HECK, B. Analysis of the Discrepancies Between the Brazilian Vertical Reference Frame and GOCE-Based Geopotential Models. In: Chris Rizzos. (Org.). *International Association of Geodesy Symposia*. 1ª ed. Berlin-Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, V. 143, P. 227-232, 2016.

FLURY, J. RUMMEL, R. Future Satellite Gravimetry for Geodesy. *Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, TU. Earth, Moon, and Planets*. Nº 94, P. 13-29, 2005.

FOREMAN, M. G. G. Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction. *Pacific Marine Science Report* 77 -10. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Victoria, 1977.

FRANCO, A. S. Marés: fundamentos, análise e previsão. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1997.

FU, L., CAZENAVE, A. Satellite Altimetry and Earth Sciences – A handbook of techniques and applications. *International Geophysics Series: USA*. V. 69, 2001.

GATTI, A.; REGUZZONI, M.; VENUTI, G. The height datum problem and the role of satellite gravity models. *Journal Geodesy: Springer-Verlag*, 2012, doi 10.1007/s00190-012-0574-3.

GEMAEL, C. *Geodésia Física*. Curitiba: Editora UFPR, 1999.

GERLACH, C; RUMMEL, R. Global height system unification with GOCE: a simulation study on the indirect bias term in the GBVP approach. *Journal of Geodesy*. V. 87, P. 57-67, 2013, doi 10.1007/s00190-012-0579-y.

GGOS. The Global Geodetic Observing System: Introducing GGOS – Additional Information: GGOS Components. Disponível em: <http://www.ggos.org/>. Acessado em 12/09/2016.

GOULARTI FILHO, A. Sistema Portuário Catarinense: A Construção dos Portos de São Francisco do Sul, Itajaí e Imbituba. P. 1-18, 2005. Disponível em: <http://cdn.fee.tche.br/jornadas/2/E3-03.pdf>. Acessado em 20/10/2016.

GOULARTI FILHO, A. Melhoramentos, reaparelhamentos e modernização dos portos brasileiros: a longa e constante espera. *Economia e Sociedade*. V. 16, Nº 3 (31), P. 455-489, 2007.

GOULARTI FILHO, A. O porto de Imbituba na formação do complexo carbonífero catarinense. *Revista de História Regional*. V. 15, Nº 2, P. 235-262, 2010.

GREGORIUS, T. Gipsy-Oasis II – How it works. Departament of Geomatics, University of Newcastle upon Tyne, 1996.

HÄFELE, P.; HUBER, S.; KANIUTH, K. Vertical Crustal Movements of Tide Gauges sites around the North Atlantic Ocean. In *International Association of Geodesy Symposia: Vertical Reference System*, Springer. V. 124, P. 244–258, 2001.

HAHMED, M.; ABDEL-MONEM, S. M.; MAHMOUD, S.; SHAKER, A.; SAAD, A. Crustal Deformation studies in the northen part of Aswan Lake using GPS technique. *Journal of The National Res. Inst. of Astronomy and Geophysics Ser. No."G28" (Special Issue)*.Cairo, Egypt. Nº 1, 2010, 19 p.

HECK, B. A contribution to the scalar free boundary value problem of physical geodesy. *Manus. Geod.* V. 14, P. 87-99, 1989.

HECK, B. Problems in definition of Vertical Reference Frames. In: *Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy*, Springer: IAG Series, V. 127, P. 164-173, 2004.

HECK, B. A. Brovar-type Solution of the fixed Geodetic Boundary Value Problem. *Studia Geophysica et Geodaetica*. V. 55, P. 441-454, 2011. doi:10.1007/s11200-011-0025-2.

HEIDLAND, C. Satellitenaltimetrie über Eis. *Ber. Polarforsch.* 141, Bremerhaven, 1994.

HEISKANEN, W. A.; MORITZ, H. *Physical Geodesy*. Reprint Institute of Physical Geodesy, Technical University, Austria, 1967a.

HEISKANEN, W.; MORITZ, H. *Physical Geodesy*. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1967b.

HEISKANEN, W. A.; MORITZ, H. *Physical Geodesy*. Madrid, Espanha: Instituto Geográfico Nacional, 1985.

HERNÁNDEZ, J. N.; BLITZKOW, D.; LUZ, R.T.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P.; DREWES, H. Connection of the Vertical Control Networks of Venezuela, Brazil and Colômbia. In: *IAG Symposium 124: Vertical Reference Systems*. Drewes, H., Dodson, A.H., Fortes, L.P.S., Sánchez, L., Sandoval, P. (eds), V. 124, Springer Verlag, P. 324-327, 2002.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; MORITZ, H. Physical geodesy. Austria: Reprint Institute of Physical Geodesy, Technical University, 2005.

HOFMANN-WELLENHOF, B., MORITZ, H. Physical Geodesy. Springer-Wien-New York, 2006.

HOLGATE, J. R.; WOODWORTH, P. L. Evidence for enhanced coastal sea level rise during the 1990's. Geophysical Research Letters, V. 31, P. 1-4, 2004.

HOUSTON, J. R.; DEAN, R. G. Sea-Level Acceleration Based on U.S. Tide Gauges and Extensions of Previous Global-Gauge Analyses. Journal of Coastal Research. V. 27, N° 3, P. 409-417, 2011.

HWANG, C.; KAO E. C.; PARSONS, B. Global derivation of marine gravity anomalies from Seasat, Geosat, ERS-1 and TOPEX/POSEIDON altimeter data. Geophysical Journal International, 134. P 449-460, 1998.

IAG – International Association of Geodesy. IAG Office: IAG and IUGG Resolutions – Hamburg, Germany, 1983. Disponível em: http://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/IAG_Resolutions_1983.pdf. Acessado em 17/10/2016.

IAG – International Association of Geodesy: Home: IAG and IUGG Resolutions – IAG Resolutions: Prague, Czech Republic 2015. Resolution nº 1 for the definition and realization of an International Height Reference System (IHRs). Disponível em: http://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/IAG_Resolutions_2015.pdf. Acessado em 02/02/2016.

IAG – International Association of Geodesy: Commissions – Commission 1 - Reference Frames. Disponível em: http://www.iag-aig.org/index.php?tpl=text&id_c=7&id_t=552. Acessado em 05/03/2016a.

IAG – International Association of Geodesy: IAG Office – IAG GGGOS. Disponível em: <http://iag.dgfi.tum.de/index.php?id=253>. Acessado em 05/03/2016b.

IAG – International Association of Geodesy: IAG Newsletters – January 2016: 5. Structure of GGOS. Disponível em: http://www.iag-aig.org/index.php?tpl=text&id_c=44&id_t=671. Acessado em 05/03/2016c.

IAG – International Association of Geodesy: IAG Newsletters – September 2016: 5. Structure of GGOS. Disponível em: http://www.iag-aig.org/index.php?tpl=text&id_c=44&id_t=671. Acessado em 05/08/2016d.

IBGE: SIRGAS - Relatório Final: Grupos de Trabalho I e II. Brasil, 1997a.

IBGE. Relatório de visita à Estação Maregráfica de Imbituba. Rio de Janeiro: Departamento de Geodésia, 1997b.

IBGE. Relatório Individual de levantamentos Geodésicos no Porto de Imbituba, 11-19/06/2007. Laboratório de Referenciais Geodésicos e Altimetria por Satélites (LARAS) - UFPR, 2007.

IBGE. Instruções técnicas para Controle Geodésico de Estações Maregráficas – CGEM e sua vinculação vertical ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB. Rio de Janeiro. Departamento de Geodésia, 2010.

IBGE. Manual de Atividades: Centro de Processamento SIRGAS – IBGE, 2011.

IBGE. Relatório de Monitoramento da variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – 2011-2012. Rio de Janeiro, 2013, 46 p.

IBGE. Análise do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG 2001/2015. Rio de Janeiro, 2016a, 65 p.

IBGE. RMPG: Introdução. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rmpg/rmpg.shtm?c=7>. Acessado em 12/03/2016b.

IBGE. RBMC: Introdução. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>. Acessado em 12/03/2016c.

IBGE. RBMC: RBMC-IP. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/>. Acessado em 20/10/2016d.

IBGE. RBMC: PPP em tempo real. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ppp_tempo_real.shtm. Acessado em 20/10/2016e.

ICET. International Centre for Earth Tides – Management: Reports to IUGG General Assemblies, Report 1995-1999. Disponível em: https://webdevel.upf.pt/ICET/IUGG_General_assemblies.htm. Acessado em 19/10/2016.

ICGEM - INTERNATIONAL CENTRE FOR GLOBAL EARTH MODELS. Gravity Field Solutions for dedicated Time Periods. Disponível em: <http://icgem.gfz-potsdam.de>. Acessado em: 16/02/2016.

IERS - The International Terrestrial Reference Frame. Disponível em: <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRF/itrf.html>. Acessado em 15/10/2016a.

IERS - International VLBI Service for Geodesy and Astrometry. Disponível em: [https:// www.iers.org/IERS/EN/Organization/TechniqueCentres/IVS/ivs.html](https://www.iers.org/IERS/EN/Organization/TechniqueCentres/IVS/ivs.html). Acessado em 21/10/ 2016b.

IGS. Network – Brasil. Disponível em: <http://www.igs.org/network>. Acessado em 03/03/2017a.

IGS. Network – Brasil: BRAZ. Disponível em: http://www.igs.org/igsnetwork/network_by_site.php?site=braz. Acessado em 03/03/2017b.

IGS. Network – Brasil: BRFT. Disponível em: http://www.igs.org/igsnetwork/network_by_site.php?site=brft. Acessado em 03/03/2017c.

IGS. Network – Brasil: CHPI. Disponível em: http://www.igs.org/igsnetwork/network_by_site.php?site=chpi. Acessado em 03/03/2017d.

IGS. Network – Brasil: POVE. Disponível em: http://www.igs.org/igsnetwork/network_by_site.php?site=pove. Acessado em 03/03/2017e.

IGS. Network – Brasil: RECF. Disponível em: http://www.igs.org/igsnetwork/network_by_site.php?site=recf. Acessado em 03/03/2017f.

IGS. Network – Brasil: SALU. Disponível em: http://www.igs.org/igsnetwork/network_by_site.php?site=salu. Acessado em 03/03/2017g.

IGS. Network – Brasil: SAVO. Disponível em: http://www.igs.org/igsnetwork/network_by_site.php?site=savo. Acessado em 03/03/2017h.

IGS. Network – Brasil: UFPR. Disponível em: http://www.igs.org/igsnetwork/network_by_site.php?site=ufpr. Acessado em 03/03/2017i.

IGSCB. IGB08: an update on IGS08. Disponível em: <https://igsb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2012/007853.html>. Acessado em 16/05/2016.

IHDE J.; AMOS M.; HECK B.; KERSLEY B.; SCHÖNE T.; SÁNCHEZ, L.; DREWES H. Conventions for the definitions and realization of a conventional vertical reference system (CVRS), 2007. Disponível em: http://whs.dgfi.badw.de/fileadmin/user_upload/CVRS_conventions_final_20070629.pdf.

IHDE, J. Concept for realization of a World Height System – Theme 1 of the Global Geodetic Observing System (GGOS). In: Reference Frames for Applications in Geosciences (REFAG2010) Paris. Anais, 2010. Disponível em: http://iag.ign.fr/abstract/pdf/Ihde_REFAG2010.pdf. Acessado em 30/05/2014.

IHDE, J.; BARZAGHI, R.; MARTI, U.; SÁNCHEZ, L.; SIDERIS, M.; DREWES, H.; FOERSTE, C.; GRUBER, T.; LIEBSCH, G.; PAIL, R. Report of the Ad-hoc Group on an International Height Reference System (IHRs). In: Drewes H., Hornik H. (Eds.) Travaux de l'AIG 39, IAG Reports 2011-2015, 2015. Disponível em: <http://www.dgfi.tum.de/media/jahresbericht/publications/03f544613917945245041ea1581df0c2.pdf>. Acessado em 08/01/2016.

IOC. Intergovernmental Oceanographic Commission. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Volume III – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission, Manual and Guides N° 14, UNESCO, 2002. 49 p.

IOC. Intergovernmental Oceanographic Commission. Manual on Sea Level: Measurement and Interpretation. Volume IV– An update to 2006. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manual and Guides N° 14, UNESCO, 2006. 78 p.

ISPS CODE - International Ship and Port Facility Security Code: Porto de Imbituba. Disponível em: <http://www.ogmoimbituba.com.br/portal/ispscode.php>. Acessado em 20/10/2016.

ISRO. SARAL. Disponível em: <http://www.isro.gov.in/Spacecraft/saral>. Acessado em 26/12/2016.

ITRF. International Terrestrial Reference Frame: Relationship between TRS's. Disponível em: http://itrf.ensg.ign.fr/rel_trs.php. Acessado em 18/10/2016.

JAMUR, K. P. Estimativa da Resolução de Modelos Geoidais Globais Obtidos de Missões Satelitais e Gravimétricos Regionais para o Estado do Paraná com Base em Observações GPS sobre RNs. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2007.133 p.

JEKELI, C. Heights, the Geopotential, and Vertical Datums. Columbus: OSU (Report, Dept. of Civ. and Env. Eng. and Geodetic Science.). N° 459, 2000, 34 p.

KAULA, W. M. Theory of Satellite Geodesy applications of satellites to Geodesy. Blaisdell Pub, 1966.

KELLOGG, O. D. Foundations of potential theory. Cambridge: Verlag von Julius Springer, 1929.

KEYSERS, J. H.; QUADROS, N. D.; COLLIER, P. A. Vertical Datum Transformations across the Littoral Zone. Report prepared for the Commonwealth Government of Australia, Department of Climate Change and Energy Efficiency, 2013, 110 p.

LAMBECK, K. Geophysical Geodesy: the Slow Deformations of the Earth. Oxford: Oxford University Press, 1988, 718 p.

LARSON, K. M. LÖFGREN, J. S.; HAAS, R. Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver. In: SciVerse ScienceDirect: Advances in Space Research. V. 51, P. 1301-1310, 2013.

LEHMANN, R. Altimetry-Gravimetry Problems with Free Vertical Datum. Journal of Geodesy, Springer-Verlag. V. 74, N° 3-4, P 327-334, 2000.

LEMOINE, F. G.; KENYON, S. C.; FACTOR, R. G.; TRIMMER, R. G.; PAVLIS, N. K.; CHINN, D. S.; COX, C. M.; KLOSKO, S. M.; LUTHCKE, S. B.; TORRENCE, M. H.; WANG, Y. M.; WILLIAMSON, R. G.; PAVLIS, E. C.; RAPP, R. H.; OLSON, T. R. The development of the joint NASA GSFC and National Imagery and Mapping Agency (NIMA) geopotential model EGM96. NASA/TP-1998-206861, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 1998.

LE PROVOST, C. Ocean Tides. In: FU, L. L.; CAZENAVE, A. (Ed.). Satellite Altimetry and Earth Sciences: a Handbook of Techniques and Applications. Academic Press, P. 267-303, 2001.

LE TRAON, P., OGOR, F. ERS-1/2 orbit improvement using TOPEX/POSEIDON: the 2 em challenge. *Journal Geophysical Research*, V. 103, P. 8045-8057, 1997.

LIEBSCH, G.; NOVOTNY, K.; DIETRICH, R.; SHUM, C. K. Comparison of Multimission Altimetric Sea-Surface Heights with Tide Gauge Observations in the Southern Baltic Sea. *Marine Geodesy*, V. 25, P. 213-234, 2002.

LISTING, J. B. Ueber unserer jetzige Kenntnis der Gestalt und Grösse der Erde. *Nachr, Königl. Gesellschaft der Wissenschaften und der G.A. Universität zu Göttingen*, N° 3, P. 33–98, 1873.

LÖFGREN, J. S.; HAAS, R. SCHERNECK, H. Sea level time series and ocean tide analysis from multipath signals at five GPS sites in different parts of the world. *Journal of Geodynamics*. V. 80, P. 66-80, 2014.

LUZ, R. T.; DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R. Acompanhamento do Datum Altimétrico IMBITUBA através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro. IAG Symposium, 2002, VII Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra. Santiago-Chile, 2002.

Disponível em: [http:// artigos.ibge.gov.br / artigos-home / geodesia / 2004-2000](http://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2004-2000). Acessado em 28/09/2015.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba- PR. Maio: 2003.

LUZ, R. T.; DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; MIRANDA, F. A.; PALMEIRO, A. S.; JAMUR, K. P. Possibilidades de Integração de dados Gravimétricos à Rede Altimétrica do SGB para Cálculo de Altitudes Sirgas no Brasil. In: I SIMGEO, 2006.

LUZ, R. T. Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao SIRGAS. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2008, 228 p.

LUZ, R. T.; BOSCH, W.; DE FREITAS, S. R. C.; HECK, B.; DALAZONA, R. Evaluating the Brazilian Vertical Datum Through Improved Coastal Satellite Altimetry Data. In: Michael Sideris. (Org.). IAG Series: Observing our Changing Earth. 1 ed. Berlin: Springer-Verlag. V. 133, P. 735-741, 2009.

LYARD, F. LEFEVRE, F., LETELLIER, T.; FRANCIS, O. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. Ocean Dynamics. V. 56, P. 394-415, 2004.

LYARD, F., LEFEVRE, F., LETELLIER, T.; FRANCIS, O. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. Ocean Dynamics. V. 56, P. 394-415, 2006. doi 10.1007/s10236-006-0086-x.

MÄKINEN, J. A Note on the Treatment of the Permanent Tidal Effect in the European Vertical Reference System (EVRS). In: Reports of the Technical Working Group. München: Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Nº 9, P. 111-113, 2000.

MÄKINEN, J.; IHDE, J. The permanent tide in height systems. In: SIDERIS, M. G. (Ed.), Observing our Changing Earth, International Association of Geodesy Symposia, V. 133, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. P. 81-87, 2009.

MCCARTHY, D. D. IERS Technical Note 21 – IERS Conventions (1996). U. S. Naval Observatory, 1996.

MIRANDA, F. A. Contribuição para a Análise do Campo da Gravidade na Região do Datum Vertical Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2006, 89 p.

MITCHUM, G. Comparison of TOPEX sea surface heights and tide gauge sea levels. *Journal Geophysical. Research.* V. 99, Nº C12, P. 24541-24553, 1994.

MIYAO, S. Y.; HARARI, J. Estudo preliminar da maré e das correntes de maré da região estuarina de Cananéia (25°S – 48°W). *Boletim Inst. Oceanografia: São Paulo.* V. 2, Nº 37, P. 107-123, 1989.

MOHAMED, A. S.; RADWAN, A. M.; SHARF, M.; HAMIMI, Z.; HEGAZY, E. E.; ALY, N. A.; GOMAA, M. Evaluation of the deformation parameters of the northern part of the Egypt using Global Navigation Satellite System (GNSS). *National Research Institute of Astronomy and Geophysics: NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics.* P. 1-11, 2016. doi:10.1016/j.nrjag.2016.01.001.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações. São Paulo: UNESP, 2008.

MORETTIN, A. P. Ondas e ondaletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondaletas. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999.

MORETTIN, A. P., TOLOI, C. M. C. Análise de séries temporais. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MORITZ, H. The boundary value problem of physical geodesy. *International Association of Geodesy, Helsinki: Publ. Isostat. Inst.,* 1965.

MORITZ, H. Geodetic Reference System 1980. *Journal of Geodesy,* V. 74, Nº 1, P. 128-133, 2000.

NASA. Missions. Disponível em: https://www.nasa.gov/mission_pages/ostm/overview/index.html. Acessado em 26/12/2016.

NEREM, R. S., SCHRAMA, E. J.; KOBLISNKY, C. J.; BECKLEY B. D. A preliminary evaluation of ocean topography from the Topex/Poseidon mission. *Journal Geophysical Research,* V. 99, Nº C12, P. 24.565-24.583, 1994.

NOAA. Laboratory for Satellite Altimetry/ Sea Level Rise: Global sea level times series. Disponível em: http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lsa/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries_global.php. Acessado em 11/05/2016.

NOVOTNY, K.; LIEBSCH, G.; LEHMANN, A.; DIETRICH, R. Combining Satellite Altimetry, Tide Gauge Observations and an Oceanographic Model to Derive the Baltic Sea Mean Sea Surface Topography. *EESA CNES, 15 years of progress in Radar Altimetry.* Venice, 2006. Disponível em: <http://earth.esa.int/cgi-bin/confalt15yd918.html?abstract=412> e <http://www.researchgate.net/public>

cation/233200099_Variability_of_Sea_Surface_Heights_in_the_Baltic_Sea_An_Intercomparison_of_Observations_and_Model_Simulations.

ONU - Organização das Nações Unidas: Agenda - 21, 1992. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acessado em 18/02/2016.

PAIRAUT, I. L.; LYARD, F.; AUCLAIR, F.; LETELLIER, T.; MARSALEIX, P. Dynamics of semi-diurnal and quarter-diurnal internal tides in the Bay of Biscay. Part 1: Barotropic tides. *Cont. Shelf Res.*, V. 28, P. 1294-1315, 2008.

PALMEIRO, A. S. Análise do Vínculo do Datum Vertical Brasileiro a um Sistema Global de Altitudes com Base em Soluções Fixadas e Livres do PVCG. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2011. 159 p.

PALMEIRO, A. S.; DE FREITAS, S. R. C.; DALAZONA, R. Análise do vínculo do Datum Vertical Brasileiro a um Sistema Global de Altitudes. *Revista Brasileira de Cartografia*. Nº 65/6, P. 1097-1111, 2013

PEREZ, J. A. S. Campo de Velocidade para as estações da RBMC e do IGS localizadas na placa Sul-americana: estimativa a partir do processamento de dados GPS. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista, 2002. 166 p.

PEREZ, J. A. S.; MONICO, J. F. G.; CHAVEZ, J. Velocity Field Estimation Using GPS Precise Point Positioning: The South American Plate Case, *Journal of Global Positioning System*. V. 2, Nº 2, P. 90-99, 2003.

PETIT, G; LUZUM, B. IERS Conventions 2010. IERS Technical Note 36, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2010. Disponível em: <http://www.iers.org/ IERS/ EN/Publications/ TechnicalNotes/tn36.html>.

PETROV, L.; PAUL-BOY, J. Study of the atmospheric pressure loading signal in very long baseline interferometry observations. *Journal of Geophysical Research*. V. 109, B03405, 2004, doi:10.1029 /2003JB002500.

PICK, M.; PÍCHA, J.; VYSKOČIL, V. *Theory of the Earth's gravity field*. Amsterdam: Elsevier, 1973.

PLAG, H. P.; PEARLMAN, M. *Global Geodetic Observing System: Meeting the Requirements of a Global Society on a Changing Planet in 2020*. Springer, 2009.

POUTANEN, M.; VERMEER, M.; MÄKINEN J. The permanent tide in GPS positioning. *Journal of Geodesy*. Springer-Verlag. V. 70, P. 499-504, 1996.

PSMSL. Permanent Service for Mean Sea Level. Disponível em: http://www.pol.ac.uk/psmsl/psmsl_individual_stations.html. Acessado em 20/09/2016.

PUGH, D. T. Tides, surges and mean sea-level. Chichester: John Wiley e Sons, 1987.

PUGH, D. T. Tides, Surges and Mean Sea-Level. Natural Environment Research Council Swindon: John Wiley e Sons, 1996.

RAY, R. D.; R. M. PONTE. Barometric tides from ECMWF operational analyses. *Annales Geophysicae*. V. 21, Nº 8, P. 1897-1910, 2003. doi: 10.5194/angeo-21-1897-2003.

ROY, K. K. Potential theory in applied geophysics. Calcutta: Springer, 2008.

RUMMEL, R.; BALMINO, G.; JOHANNESSEN, J.; VISSER, P.; WOODWORTH, P. Dedicated gravity field missions – principles and aims. *Journal of Geodynamics: Earth's Gravity and Magnetic Fields from Space*. V. 33, P. 3-20, 2002.

SÁNCHEZ L. Definition and Realization of the SIRGAS Vertical Reference System within a Globally Unified Height System. In: Tregoning, P., Ch. Rizos (Eds.). *Dynamic Planet*. Springer: IAG Symposia 130, P. 638-645, 2007.

SÁNCHEZ, L. Towards a vertical datum standardization under the umbrella of Global Geodetic Observing System. *Journal of Geodetic Science*. V. 2, Nº 4, P. 325-342, 2012.

SÁNCHEZ, L.; DAYOUB, N.; ČUNDERLÍK, R.; MINARECHOVÁ, Z.; MIKULA, K.; VATRT, V.; VOJTÍŠKOVÁ, M.; ŠÍMA, Z. W_0 Estimates in the Frame of the GGOS Working Group on Vertical Datum Standardisation. *Series International Association of Geodesy Symposia: Springer*. Chapter: Gravity, Geoid and Height Systems. V. 141, P. 203-210, 2012.

SÁNCHEZ, L.; ČUNDERLÍK, R.; DAYOUB, N.; MIKULA, K.; MINARECHOVÁ, Z.; ŠÍMA, Z.; VATRT, V.; VOJTÍŠKOVÁ, M. A conventional value for the geoid reference potential W_0 . *Journal of Geodesy*. V. 90, P. 815-835, 2016, doi:10.1007/s00190-016-0913-x.

SÁNCHEZ, L.; DREWES H. VEMOS2015: Velocity and deformation model for Latin America and the Caribbean. 2016a, doi:10.1594/PANGAEA.863131.

SÁNCHEZ, L.; DREWES H. Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America. *Journal of Geodynamics*. P. 1-23, 2016b, doi:10.1016/j.jog.2016.06.005.

SAPUCCI, L. F; MONICO, J. F. G. Transformação de Helmert Generalizada no posicionamento de alta precisão: Fundamentação teórica e exemplificações. *Revista Brasileira de Geofísica*. V. 18. P.161-172, 2000.

SCHARROO, R.; MILLER, L. Global and Regional Sea Level Change from Multi-Satellite Altimeter Data. P. 1-6, 2006. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/260274297_Global_and_Regional_Sea_Level_Change_from_Multi-Satellite_Altimeter_Data.

SCHARROO, R.; BONEKAMP, H.; PONSARD, C.; LODDO, C. N. Prospects for the use of satellite altimetry in coastal. In event: 9th Coastal Altimetry Workshop. Disponível em: http://meetings.aviso.altimetry.fr/?id=95&nocache=1&tx_ausyclsseminar_pi2%5bobjAbstract%5d=1821&nocache=1&useCacheHash=1&cHash=1. Acessado em 14/03/2016.

SCHWATKE C., BOSCH W., SAVCENKO R., DETTMERING D. OpenADB - An open database for multi-mission altimetry. EGU, Vienna, Austria, 2010.

SCHWATKE, C.; DETTMERING, D.; BOSCH, W. Using Multi-Mission Satellite Altimetry for estimating water level time series of Inland Water in DAHITI. OSTST. Boulder: Colorado, USA, 2013. Disponível em: http://www.aviso.altimetry.fr/fileadmin/documents/OSTST/2013/oral/schwatke_ostst_dahiti.pdf. Acessado em 18/12/2016.

SCHWATKE, C.; DETTMERING, D.; BOSCH, W.; SEITZ, F. DAHITI – an innovative approach for estimating water level time series over inland waters using multi-mission satellite altimetry. *Hidrology and Earth System Sciences*. V. 19: P. 4345-4364, 2015.

SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications*. Walter de Gruyter, New York, 1993, 531 p.

SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003, 589 p.

SELLA, G.; DIXON, T.; MAO, A.; REVEL: A model for Recent Plate Velocities from Space Geodesy, *Journal of Geophysical Research*. V. 107, N° B4, P. 11-31, 2002.

SHOM - Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. Teste de Van de Casteele. Disponível em: http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/vdc.htm. Acessado em 05/08/2015.

SIDERIS, M. Introduction. Global Geodetic Observing System - GGOS 2020 Book. Springer, 2009.

SIDERIS, M.G.; RANGELOVA, E.; RUMMEL, R.; GERLACH, C.; GRUBER, T.; WOODWORTH, P.; HUGHES, C.; IHDE, J.; LIEBSCH, G. World Height System Unification and GOCE. In: IUGG General Assembly, Melbourne, 2011.

SIDERIS, M. G.; SÁNCHEZ, L.; IHDE, J.; LIEBSCH, G. Report: Theme 1 – Unified Global Height System. Joint Working Group 0.1.1: Vertical Datum Standardisation (JWG 0.1.1), 2014. Disponível em: http://192.106.234.28/Components/entity_reports/2014_12_13/GGOS_report_141213_theme1.pdf. Acessado em 09/03/2016.

SILVA, A. L.; COSTA, S. M. A.; VAZ, J. A. Deslocamento das Estações SIRGAS-CON em Função do Terremoto ocorrido no Chile – Uma Abordagem do Centro de Processamento SIRGAS – IBGE. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife – PE, P. 1-5, 2010.

SIRGAS. Definição: Defnición del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=52>. Acessado em 03/03/2016a.

SIRGAS. Rede SIRGAS-CON: Coordenadas. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=183>. Acessado em 18/10/2016b.

SIRGAS. Velocidades. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=54>. Acessado em 18/10/2016c.

SIRGAS. VEMOS. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=241>: VEMOS. Acessado em 18/10/2016d.

SIRGAS. Séries Temporais. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=54>. Acessado em 10/11/2016e.

SISBAHIA - Módulo de maré: Lista de Constantes Harmônicas disponíveis. Disponível em: http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/Arquivos_Gerais/Modulo%20Mare.htm. Acessado em 01/05/2016.

SMITH, J.; WIGGINTON, N.; ASH, C.; FAHRENKAMP-UPPENBRINK, J.; PENNISI, E. Changing Oceans: Introduction to Special ISSUE. Science. V. 328, P. 1497, 2010, doi: 10.1126/science.328.5985.1497.

SPIPKER Jr., J. J. Tropospheric Effects on GPS. In: PARKINSON, B. W.; SPIPKER Jr., J. J. Global Positioning System: Theory and Applications. Cambridge: American Institute of Aeronautics and Astronautics. V.1, P.517-546, 1996.

TEIXEIRA, N. N. Análise geodésica de deformações da crosta em regiões de grandes barragens a partir de deslocamentos tridimensionais obtidos pelo sistema de posicionamento global. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2005. 294 p.

TORGE, W. Gravimetry. Berlin; New York: Walter de Gruyter, 1981.

TORGE, W. Geodesy. 2nd. Translate by Christopher Jekeli, Berlin; New York. ISBN 3-11-012408-4, 1991, 245 p.

TORGE, W. Geodesy. 3rd compl. rev. and ext. ed., Walter de Gruyter: Berlin. ISBN 3-11-017072-8, 2001, 416 p.

TRABANCO, J. L. A. Conceitos e Técnicas Modernas de Monitoramento da Crosta Terrestre e sua Vinculação com o Estudo do Nível Médio do Mar – Uma Análise das Estações Maregráficas de Cananéia e Ubatuba. Tese de Doutorado, Engenharia - Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. 228 p.

TURCOTTE, D. L.; SCHUBERT, G. Geodynamics, Second Edition. Cambridge University Press, United Kingdom, 2001. 456 p.

UHSLC. University of Hawaii Sea Level Center. Disponível em: <http://uhslc.soest.hawaii.edu/data/?rq>. Acessado em 16/11/2016.

VANDAM, T.M.; BLEWITT, G.; HEFLIN, M.B. Atmospheric pressure loading effects on Global Positioning System. In: Journal of Geophysical Research. V. 99, N° B12, P. 23939-23950, 1994.

VANIČEK, P. Physical Geodesy. Lecture Notes, N° 43. University of New Brunswick: Fredericton, 1976.

VANIČEK P., SJÖBERG, L.E. Reformulation of Stokes's theory for higher than second degree reference field and a modification of integration kernels. Journal of Geophysical Research. N. 96 (B4), P. 6529-6539, 1991.

WAGNER, C. A.; TAI, C. K.; KUHN, J. M. Temporal variability of global Topex/Poseidon altimetry: tide and annual signals? Bulletin Geodesique. V. 69, P. 244-251, 1995.

WOODWORTH, P. L. Monitoring and Predicting Long Term Global Sea and Level Changes. 2004. Disponível em: <http://www.pol.ac.uk/psmsl/powerpoint>. Acessado em 10/05/2014.

XU, C.; LIU, J.; CHAO, D.; SHI, C.; CHEN, T.; LI, Y. Preliminary study of block rotation model in North China area using GPS measurements. In: Schwarz K-P (ed) Geodesy beyond 2002, Proceedings of the International Association of Geodesy Symposia, January, 2001. Springer, Berlin Heidelberg New York. P. 295-303, 2002.

YI Y. Determination of gridded mean sea surface from TOPEX, ERS-1 and GEOSAT altimeter data. Report Nº 434, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, 1995.

ZAKATOV, P. S. Curso de Geodesia Superior. Editora Rubiños-1860, S.A., Madrid, 1981.

APÊNDICES

1. INSTITUIÇÕES QUE DISPONIBILIZAM INFORMAÇÕES DE MARÉ A DHN

Continua

Nº	Instituição	Porto	UF	Latitude	Longitude
1	DHN	Ilha do Mosqueteiro	PA	-01°09,9'	-48°28,5'
		Porto de Vila do Conde		-01°32,4'	-48°45,2'
		Atracadouro de Breves		-01°41,5'	-50°29,0'
		São Luís	MA	-02°31,6'	-44°18,7'
		Porto de Itaqui		-02°34,6'	-44°22,2'
		Porto de Tutóia		-02°45,9'	-42°16,5'
		Terminal Portuário do Pecém	CE	-03°32,1'	-38°47,9'
		Porto de Mucupire	RN	-03°42,9'	-38°28,6'
		Porto de Areia Branca		-04°49,5'	-37°02,4'
		Porto de Guamaré		-05°06,3'	-36°19,1'
		Porto de Macau		-05°06,0'	-36°40,4'
		Porto de Natal	PE	-05°46,7'	-35°12,5'
		Ilha de Fernando de Noronha		-03°50,0'	-32°24,2'
		Porto do Recife	AL	-08°03,4'	-34°52,1'
		Porto de Maceió	SE	-09°41,0'	-35°43,5'
		Capitania dos Portos de Sergipe	BA	-10°55,2'	-37°02,8'
		Porto de Madre de Deus		-12°44,7'	-38°37,3'
		Porto de Aratu		-12°47,8'	-38°29,5'
		Porto de Ilhéus		-14°46,8'	-39°01,6'
		Terminal de Barra do Riacho	ES	-19°50,3'	-40°03,4'
		Porto de Tubarão		-20°17,3'	-40°14,6'
		Terminal da Ponta do Ubu		-20°47,2'	-40°34,2'
		Ilha da Trindade	RJ	-20°30,5'	-29°18,6'
		Porto de Itaguaí		-22°55,9'	-43°50,5'
		Porto de Angra dos Reis		-23°00,8'	-44°18,9'
		Barra de Paranaguá - Sueste	PR	-25°32,4'	-48°17,7'
2	CHM	Barra Norte do Rio Amazonas	AP	00° 45,7	-50°07,1'
		Porto de Santana		-00°03,7'	-51°10,1'
		Ilha dos Guarás	PA	-00°35,9'	-47°54,9'
		Porto de Vitória	ES	-20°19,1'	-40°17,8'
		Porto do Rio de Janeiro	RJ	-22°53,8'	-43°10,0'
		Porto de Itajaí	SC	-26°54,6'	-48°39,2'
		Fundeadoiro da Estação Antártica Comandante Ferraz	-	-62°05,1'	-58°23,7'
3	IAGS	Fundeadoiro de Salinópolis	PA	-00°37,0	-47°21,0
		Porto de Belém		-01°26,2'	-48°29,6'
		Porto de Salvador	BA	-12°57,9'	-38°31,0'
		Porto de Imbituba	SC	-28°13,8'	-48°39,0'
4	CV	Terminal da Ponta da Madeira	MA	-02°33,9'	-44°22,7'
5	ALUMAR	Terminal da Alumar	MA	-02°40,7'	-44°21,8'
6	INPH	Porto de Luís Correia	PI	-02°51,1'	-41°38,7'
		Porto de Suape	PE	-08°23,9'	-34°57,6'
7	DNPVN	Porto de Cabedelo	PB	-06°58,2'	-34°50,4'
		Porto de Santos	SP	-23°57,1'	-46°18,3'
		Porto do Rio Grande	RS	-32°07,4'	-52°06,2'
		Porto de Florianópolis	SC	-27°35,3'	-48°33,4'
		Porto de São Francisco do Sul		-26°14,7'	-48°38,4'
8	PETROBRAS	Terminal Marítimo Inácio Barbosa	SE	-10°50,0'	-36°55,7'

Conclusão

Nº	Instituição	Porto	UF	Latitude	Longitude
9	MICROARS	Porto do Açu	RJ	-21°48,9'	-40°59,9'
10	IBGE	Terminal Marítimo de Imbetiba		-22°23,1'	-41°46,2'
11	IEAPM	Porto do Forno		-22°58,3'	-42°00,8'
12	MBR	Terminal da Ilha Guaíba		-23°00,0'	-44°01,9'
13	DHESP	Porto de São Sebastião	SP	-23°48,6'	-45°23,9'
14	APPA	Barra de Paranaguá	PR	-25°34,0'	-48°19,0'
		Porto de Paranaguá		-25°30,1'	-48°31,5'
		Terminal Portuário da Ponta do Félix		-25°27,3'	-48°40,7'

2. ESTAÇÕES DISPONÍVEIS NA RBMC, SIRGAS, IGS, IGB08, RIBAC E TIGA

Continua

Nº	SIGLAS	Estação	UF	Latitude Aprox.	Longitude Aprox.	Início de Operação
1	ALAR ⁽³⁾	Arapiraca	AL	-09°44'	-36°39'	03/04/2008
2	AMBC ⁽¹⁾	Barcelos	AM	-00°58'	-62°55'	27/05/2015
3	AMCO ⁽³⁾	Coari	AM	-04°52'	-65°20'	12/09/2012
4	AMHA ⁽³⁾	Humaitá	AM	-07°31'	-63°02'	01/01/2015
5	AMMU ⁽¹⁾	Maués	AM	-03°24'	-57°43'	03/07/2015
6	AMPR ⁽³⁾	Parintins	AM	-02°38'	-56°44'	28/11/2014
7	AMTA ⁽³⁾	Tabatinga	AM	-04°13'	-69°56'	04/02/2015
8	AMTE ⁽³⁾	Tefé	AM	-03°21'	-64°42'	21/10/2013
9	AMUA ⁽³⁾	Manaus - UEA	AM	-03°06'	-60°01'	21/02/2015
10	APLJ ⁽³⁾	Laranjal do Jari	AP	-00°49'	-52°30'	31/10/2014
11	APS1 ⁽¹⁾	Santana-Docas	AP	-00°04'	-51°10'	27/01/2016
12	BABJ ⁽¹⁾	Bom Jesus da Lapa IF Baiano	BA	-13°16'	-43°33'	05/02/2016
13	BABR ⁽³⁾	Barreiras	BA	-12°09'	-44°59'	18/02/2010
14	BAIL ⁽³⁾	Ilhéus	BA	-14°48'	-39°10'	28/06/2013
15	BAIR ⁽³⁾	Irecê	BA	-11°18'	-41°52'	01/01/2009
16	BAIT ⁽³⁾	Itaberaba	BA	-12°31'	-40°17'	24/07/2015
17	BATF ⁽³⁾	Teixeira de Freitas	BA	-17°33'	-39°45'	01/01/2009
18	BAVC ⁽³⁾	Vitória da Conquista	BA	-14°53'	-40°48'	10/04/2009
19	BELE ⁽⁴⁾	Belém	PA	-01°24'	-48°27'	01/01/2004
20	BEPA ⁽³⁾	Belém - INPE	PA	-01°27'	-48°26'	18/07/2014
21	BOAV ⁽⁵⁾	Boa Vista	RR	02°50'	-60°42'	05/09/2007
22	BOMJ ⁽¹¹⁾	Bom Jesus da Lapa	BA	-13°15'	-43°25'	18/02/1997
23	BRAZ ⁽⁸⁾	Brasília	DF	-15°56'	-47°52'	25/06/1997
24	BRFT ⁽⁶⁾	Fortaleza	CE	-03°52'	-38°25'	01/01/2006
25	CEEU ⁽⁴⁾	Fortaleza	CE	-03°52'	-38°25'	02/03/2008
26	CEFE ⁽⁵⁾	Vitória	ES	-20°19'	-40°19'	24/07/2007
27	CEFT ⁽³⁾	Fortaleza	CE	-03°42'	-38°28'	01/01/2010
28	CESB ⁽³⁾	Sobral	CE	-03°41'	-40°20'	25/10/2013
29	CHPI ⁽²⁾	Cachoeira Paulista	SP	-22°41'	-44°59'	01/01/2001
30	COAM ⁽¹⁾	Coari UEA	AM	-04°05'	-63°08'	15/10/2014
31	CRAT ⁽⁴⁾	Crato	CE	-07°14'	-39°24'	01/01/2007
32	CRUZ ⁽³⁾	Cruzeiro do Sul	AC	-07°36'	-72°40'	05/09/2007
33	CUIB ⁽⁹⁾	Cuiabá	MT	-15°33'	-56°04'	18/06/1997
34	EESC ⁽³⁾	São Carlos	SP	-22°00'	-47°54'	18/02/2012
35	GOGY ⁽³⁾	Goiânia	GO	-16°40'	-49°15'	09/06/2013
36	GOJA ⁽³⁾	Jataí	GO	-17°53'	-51°44'	09/06/2008
37	GOUR ⁽³⁾	Uruaçu	GO	-14°31'	-49°09'	02/07/2015
38	GVA1 ⁽³⁾	Gov. Valadares - Rede CEMIG	MG	-18°51'	-41°57'	10/04/2014
39	IFSC ⁽³⁾	Florianópolis IFSC	SC	-27°36'	-48°33'	11/10/2015
40	ILHA ⁽³⁾	Ilha Solteira	SP	-20°26'	-51°21'	19/06/2009
41	IMBT ⁽⁷⁾	Imbituba	SC	-28°14'	-48°39'	05/09/2007
42	IMPZ ⁽⁹⁾	Imperatriz	MA	-05°29'	-47°29'	17/07/1997
43	ITAM ⁽¹⁾	Itacoatiara	AM	-03°08'	-58°26'	30/10/2014
44	JAMG	Jaíba	MG	-15°21'	-43°46'	22/11/2014
45	MABA ⁽³⁾	Marabá	PA	-05°21'	-49°07'	05/09/2007
46	MABB ⁽³⁾	Bacabal	MA	-04°14'	-44°49'	05/11/2013
47	MABS ⁽³⁾	Balsas	MA	-07°32'	-46°02'	07/03/2010
48	MAPA ⁽⁴⁾	Macapá	AP	00°05'	-51°06'	13/01/2006
49	MCL1 ⁽³⁾	Montes Claros - Rede CEMIG	MG	-16°43'	-43°53'	08/04/2014
50	MGBH ⁽³⁾	Belo Horizonte	MG	-19°56'	-43°55'	02/01/2009
51	MGIN ⁽³⁾	Inconfidentes	MG	-22°19'	-46°20'	01/01/2008

Continua

Nº	SIGLAS	Estação	UF	Latitude Aprox.	Longitude Aprox.	Início de Operação
52	MGMC ⁽³⁾	Montes Claros - CODEVASF	MG	-16°43'	-43°51'	05/04/2008
53	MGRP ⁽³⁾	Rio Paranaíba	MG	-19°13'	-46°08'	05/03/2010
54	MGUB ⁽³⁾	Uberlândia - UFU	MG	-18°55'	-48°15'	09/01/2008
55	MGV1 ⁽³⁾	Varginha - Rede CEMIG	MG	-21°33'	-45°26'	27/03/2014
56	MSAQ ⁽¹⁾	Aquidauana	MS	-20°27'	-55°40'	05/05/2016
57	MSCG ⁽³⁾	Campo Grande	MS	-20°26'	-54°32'	01/01/2008
58	MSCO ⁽³⁾	Corumbá	MS	-19°00'	-57°38'	26/11/2013
59	MSDR ⁽³⁾	Dourados - UFGD	MS	-22°12'	-54°56'	10/07/2013
60	MTBA ⁽³⁾	Barra do Garças	MT	-15°53'	-52°15'	29/08/2008
61	MTCN ⁽³⁾	Canarana	MT	-13°33'	-52°16'	25/11/2010
62	MTCO ⁽⁴⁾	Colíder	MT	-10°48'	-55°27'	10/04/2009
63	MTJI ⁽³⁾	Juína IFMT	MT	-11°26'	-58°43'	25/09/2014
64	MTNX ⁽¹⁾	Nova Xavantina	MT	-14°42'	-52°21'	16/02/2016
65	MTSF ⁽³⁾	São Félix do Araguaia	MT	-11°37'	-50°40'	03/04/2008
66	MTSR ⁽³⁾	Sorriso	MT	-12°33'	-55°44'	22/11/2010
67	MTVB ⁽³⁾	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT	-15°00'	-59°57'	22/04/2010
68	NAUS ⁽⁹⁾	Manaus	AM	-03°01'	-60°03'	01/01/2006
69	NEIA ⁽⁵⁾	Cananéia	SP	-25°01'	-47°55'	02/01/2006
70	ONRJ ⁽⁴⁾	Rio de Janeiro - ON	RJ	-22°54'	-43°13'	30/03/2007
71	OURI ⁽³⁾	Ourinhos	SP	-22°57'	-49°54'	19/06/2009
72	PAAT ⁽³⁾	Altamira	PA	-03°12'	-52°10'	05/03/2010
73	PAIT ⁽³⁾	Itaituba	PA	-04°17'	-56°02'	07/04/2010
74	PASM ⁽³⁾	Santarém - INCRA	PA	-02°26'	-54°44'	15/07/2015
75	PBCG ⁽³⁾	Campina Grande	PB	-07°12'	-35°54'	03/04/2008
76	PBJP ⁽³⁾	João Pessoa	PB	-07°08'	-34°52'	23/04/2013
77	PEAF ⁽³⁾	Afogados da Ingazeira	PE	-07°46'	-37°38'	03/09/2013
78	PEPE ⁽⁴⁾	Petrolina	PE	-09°23'	-40°30'	01/01/2008
79	PICR ⁽³⁾	Corrente	PI	-10°26'	-45°10'	06/06/2014
80	PIFL ⁽³⁾	Floriano	PI	-06°47'	-43°02'	07/11/2013
81	PISR ⁽³⁾	São Raimundo Nonato	PI	-09°02'	-42°42'	10/04/2009
82	PITN ⁽³⁾	Teresina	PI	-05°06'	-42°48'	06/07/2010
83	POAL ⁽⁹⁾	Porto Alegre	RS	-30°04'	-51°07'	04/01/1999
84	POLI ⁽³⁾	São Paulo	SP	-23°33'	-46°44'	01/01/2007
85	POVE ⁽⁹⁾	Porto Velho	RO	-08°43'	-63°54'	04/01/2006
86	PTPE ⁽⁹⁾	Presidente Prudente	SP	-22°07'	-51°25'	01/01/2006
87	PRCV ⁽³⁾	Cascavel	PR	-24°58'	-53°28'	13/05/2013
88	PRGU ⁽³⁾	Guarapuava	PR	-25°23'	-51°29'	10/04/2009
89	PRMA ⁽³⁾	Maringá	PR	-23°25'	-51°56'	10/04/2009
90	RECF ⁽⁹⁾	Recife	PE	-08°03'	-34°58'	06/01/2000
91	RIOB ⁽⁵⁾	Rio Branco	AC	-09°58'	-67°48'	01/05/2007
92	RIOD ⁽⁴⁾	Rio de Janeiro - IBGE	RJ	-22°49'	-43°18'	08/02/2001
93	RJCG ⁽³⁾	Campos dos Goytacazes	RJ	-21°45'	-41°19'	03/04/2008
94	RNMO ⁽³⁾	Mossoró	RN	-05°12'	-37°20'	01/01/2009
95	RNNA ⁽³⁾	Natal	RN	-05°50'	-35°12'	01/01/2009
96	ROCD ⁽³⁾	Colorado d'Oeste	RO	-13°07'	-60°33'	09/04/2010
97	ROGM ⁽⁴⁾	Guajará-Mirim	RO	-10°47'	-65°20'	01/01/2008
98	ROJI ⁽³⁾	Ji-Paraná	RO	-10°52'	-61°58'	03/04/2008
99	ROSA ⁽³⁾	Rosana	SP	-22°31'	-52°57'	19/06/2009
100	RSAL ⁽³⁾	Alegrete	RS	-29°47'	-55°46'	04/07/2013
101	RSCL ⁽³⁾	Cerro Largo	RS	-28°09'	-54°45'	02/06/2014
102	RSPE ⁽³⁾	Pelotas	RS	-31°48'	-52°25'	03/07/2014
103	SAGA ⁽⁵⁾	São Gabriel da Cachoeira	AM	-00°09'	-67°03'	16/09/2007

Conclusão

Nº	SIGLAS	Estação	UF	Latitude Aprox.	Longitude Aprox.	Início de Operação
104	SALU ⁽⁵⁾	São Luís	MA	-02°36'	-44°13'	05/09/2007
105	SAVO ⁽⁹⁾	Salvador - INCRA	BA	-12°56'	-38°26'	06/09/2007
106	SCAQ ⁽³⁾	Araquari	SC	-26°23'	-48°44'	08/10/2013
107	SCCH ⁽³⁾	Chapecó	SC	-27°08'	-52°35'	03/04/2008
108	SCFL ⁽³⁾	Florianópolis	SC	-27°36'	-48°31'	07/09/2013
109	SCLA ⁽³⁾	Lages	SC	-27°48'	-50°18'	03/04/2008
110	SEAJ ⁽³⁾	Aracaju - São Cristóvão	SE	-10°55'	-37°06'	16/04/2013
111	SJRP	São José do Rio Preto	SP	-20°47'	-49°22'	19/06/2009
112	SJSP ⁽³⁾	São José dos Campos	SP	-23°12'	-45°52'	29/04/2013
113	SMAR ⁽⁴⁾	Santa Maria	RS	-29°43'	-53°43'	07/01/2002
114	SPAR ⁽³⁾	Araçatuba	SP	-21°11'	-50°26'	01/01/2010
115	SPBO ⁽³⁾	Botucatu	SP	-22°51'	-48°26'	19/05/2011
116	SPC1 ⁽³⁾	Campinas - UNICAMP	SP	-22°49'	-47°04'	30/04/2015
117	SPDR ⁽³⁾	Dracena	SP	-21°27'	-51°33'	25/07/2014
118	SPFR ⁽³⁾	Franca	SP	-20°31'	-47°23'	18/07/2014
119	SPFE ⁽¹⁾	Fernandópolis	SP	-20°16'	-50°14'	23/02/2015
120	SPJA ⁽³⁾	Jaboticabal	SP	-21°14'	-48°17'	02/10/2010
121	SPLJ ⁽³⁾	Lins UNILINS	SP	-21°40'	-49°44'	25/07/2014
122	SPPI ⁽³⁾	Piracicaba	SP	-22°42'	-47°37'	25/07/2014
123	SPTU ⁽³⁾	Tupã	SP	-21°56'	-50°30'	25/07/2014
124	SSA1 ⁽⁷⁾	Salvador - Porto	BA	-12°59'	-38°31'	05/09/2007
125	TOGU ⁽³⁾	Gurupi	TO	-11°44'	-49°02'	03/04/2008
126	TOPL ⁽⁹⁾	Palmas	TO	-10°10'	-48°20'	01/01/2008
127	UBA1 ⁽³⁾	Ubatuba (Marégrafo)	SP	-23°30'	-45°07'	07/04/2010
128	UBE1 ⁽³⁾	Uberlândia - Rede CEMIG	MG	-18°53'	-48°19'	25/03/2014
129	UFPR ⁽⁵⁾	Curitiba	PR	-25°26'	-49°13'	05/09/2007
130	VICO ⁽⁴⁾	Viçosa	MG	-20°46'	-42°52'	22/05/1997
131	MANA ⁽¹⁰⁾	Manaus	AM	-03°06'	-60°03'	28/04/1997

FONTE: Informações obtidas do IBGE (2016b) e SIRGAS (2016e)

(*) Colocou-se uma legenda de (1) a (11) em cada estação para identificar em qual rede encontra-se disponibilizada.

(1) Estações ativas apenas na RBMC

(2) Estação ativa na RMBC e IGS

(3) Estações ativas na RBMC e na Rede SIRGAS-CON

(4) Estações ativas na RBMC, na Rede SIRGAS-CON e RIBAC

(5) Estações ativas na RBMC, na Rede SIRGAS-CON e IGS

(6) Estação ativa na RBMC, na Rede SIRGAS-CON e IGB08

(7) Estações ativas na RBMC, na Rede SIRGAS-CON e TIGA

(8) Estação ativa na RBMC, na Rede SIRGAS-CON, RIBAC e IGB08

(9) Estações ativas na RBMC, na Rede SIRGAS-CON, RIBAC e IGS

(10) Estação desativada na RBMC

(11) Estação ativa na RBMC, RIBAC e IGS

(*) Atualização em 21/10/2016

3. ATUALIZAÇÕES DAS ESTAÇÕES DA RBMC

Atualização	Época	Estações
Troca de Equipamento	20/09/2010	40
	04/04/2012	130
	29/08/2012	69
	04/10/2012	111
	10/12/2012	71
	04/04/2013	91
	20/03/2014	120
	26/05/2014	106
	05 e 11/06/2014	73 e 89
	06 e 28 /08/2014	77, 68
	17 e 19/09/2014	(23, 27) e 126
	13-17 e 21/10/2014	110 78, 15, 14, 112 e 53
	18/07/2015	20
	15 e 21/10/2015	30 e 58
	17 e 22/12/2015	44 e 118
	27 e 28/12/2015	80 e 7
Atualização da Altitude Ortométrica (MAPGEO 2010)	28/06/2010	1, 13, 17, 18, 19, 21, 22, 26, 29, 32, 36, 41, 42, 45, 47, 50, 51, 52, 54, 57, 60, 62, 65, 72, 75, 81, 85, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 103, 105, 107, 109, 125, 129
	01 e 27/04/2011	(66, 82) e 61
	18/08/2011	115
	04/04/2012	34
	09/10/2012	3
	15/08/2013	59, 87
	05/12/2013	46
	12/05/2014	38, 49, 55, 128
Firmware	09/06/2012	67
	17 e 19/03/2013	127 e 84
	20/11/2013	48
	08/01/2014	35
	04, 06, 12 e 18/02/2014	102, (70, 92), 8 e 108
	05, 28 e 30/05/2014	83, 28 e (86, 114)
	02/06/2014	104
	31/07/2014	31
	01, 02, 17, 18 e 19/09/2014	88, 24, 33, (25, 100, 113, 124) e (90, 95)
	06/11/2014	63
	19/03/2015	121, 122
	10/08/2015	116

FONTE: Informações obtidas do IBGE (2016b)

As estações que não passaram por nenhum processo de alteração não se encontram na Tabela acima

(*) Atualização das informações em 21/10/2016